

UNIVERSITE DE NANTES

UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2017

N° 052

UTILISATION DES ULTRASONS EN ENDODONTIE

THESE POUR LE DIPLÔME D'ETAT DE
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

Lucile RAPIN

Née le 10/11/1992 à Cholet

Le 10 novembre 2017 devant le jury ci-dessous

Président de thèse : Madame le Professeur Fabienne PEREZ
Assesseurs : Monsieur Le Docteur Gilles AMADOR DEL VALLE
Madame le Docteur Hélène GOEMAERE GALIERE

Directeur de thèse : Madame le Docteur Valérie ARMENGOL

UNIVERSITÉ DE NANTES	
Président	Pr LABOUX Olivier
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE	
Doyen	Pr GIUMELLI Bernard
Assesseeurs	Dr RENAUDIN Stéphane Pr SOUEIDAN Assem Pr WEISS Pierre
Professeurs des Universités Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	
Monsieur AMOURIQ Yves Monsieur GIUMELLI Bernard Monsieur LE GUEHENNEC Laurent Monsieur LESCLOUS Philippe	Madame LICHT Brigitte Madame PEREZ Fabienne Monsieur SOUEIDAN Assem Monsieur WEISS Pierre
Professeurs des Universités	
Monsieur BOULER Jean-Michel	
Professeurs Emérites	
Monsieur BOHNE Wolf	Monsieur JEAN Alain
Praticiens Hospitaliers	
Madame DUPAS Cécile Madame LEROUXEL Emmanuelle	Madame HYON Isabelle Madame GOEMAERE GALIERE Hélène
Maîtres de Conférences Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	Assistants Hospitaliers Universitaires des C.S.E.R.D.
Monsieur AMADOR DEL VALLE Gilles Madame ARMENGOL Valérie Monsieur BADRAN Zahi Madame BLERY Pauline Monsieur BODIC François Madame DAJEAN-TRUTAUD Sylvie Madame ENKEL Bénédicte Monsieur GAUDIN Alexis Monsieur HOORNAERT Alain Madame HOUCHMAND-CUNY Madline Madame JORDANA Fabienne Monsieur KIMAKHE Saïd Monsieur LE BARS Pierre Madame LOPEZ-CAZAUX Serena Monsieur NIVET Marc-Henri Madame RENARD Emmanuelle Monsieur RENAUDIN Stéphane Madame ROY Elisabeth Monsieur STRUILLOU Xavier Monsieur VERNER Christian	Monsieur ABBAS Amine Monsieur AUBEUX Davy Madame BERNARD Cécile Monsieur BOUCHET Xavier Madame BRAY Estelle Madame CLOITRE Alexandra Monsieur DRUGEAU Kevin Madame GOUGEON Béatrice Monsieur LE BOURHIS Antoine Monsieur LE GUENNEC Benoît Monsieur LOCHON Damien Madame MAÇON Claire Madame MAIRE-FROMENT Claire-Hélène Madame MERCUSOT Marie-Caroline Monsieur OUVRARD Pierre Monsieur PRUD'HOMME Tony Monsieur SARKISSIAN Louis-Emmanuel
Maître de Conférences	
Madame VINATIER Claire	
Enseignants Associés	
Monsieur KOUADIO Ayepa (Assistant Associé) Madame LOLAH Aoula (MC Associé)	Madame MERAMETDJIAN Laure (MC Associé) Madame RAKIC Mia (PU Associé)

**Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le Conseil de la Faculté de
Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les
dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme
propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune
approbation, ni improbation.**

REMERCIEMENTS

A Madame le Professeur **Fabienne PEREZ**,
Docteur en Chirurgie Dentaire,
Professeur des Universités,
Praticien hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement et de Recherches Dentaires,
Docteur de l'Université de Toulouse III,
Habilitation à diriger des recherches,
Chef du département d'Odontologie Conservatrice-Endodontie,
Chef du service d'Odontologie Conservatrice et Pédiatrique,

-NANTES-

*Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse,
Pour la qualité de vos enseignements théoriques et cliniques dont j'ai pu bénéficier tout le long de
mon cursus universitaire,
Veuillez trouver le témoignage de ma sincère gratitude et de mon profond respect.*

A Madame le Docteur **Valérie ARMENGOL**,
Docteur en Chirurgie Dentaire,
Maitre de conférences des universités,
Praticien hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement, et de Recherches Dentaires,
Docteur de l'Université de Nantes,
Département d'Odontologie Conservatrice-Endodontie,

-NANTES-

*Pour m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse,
Pour votre disponibilité et vos précieux conseils tout au long de la réalisation de ce travail,
Pour la qualité et la rigueur de votre enseignement,
Pour votre gentillesse et votre soutien,
Veuillez trouver ici l'expression de mon entière gratitude et de mes remerciements les plus sincères.*

A Monsieur le Docteur **Gilles AMADOR DEL VALLE**,
Docteur en Chirurgie Dentaire,
Maitre de Conférence des Universités,
Praticien hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement et de Recherches Dentaires,
Docteur de l'Université de Nantes,
Habilitation à diriger des recherches,
Département de Prévention – Epidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale,
Chef du Pôle Hospitalo-Universitaire (Ostéo-articulaire – Tête et cou – Odontologie – Neurochirurgie
– Neuro-traumatologie) du CHU de Nantes,

-NANTES-

*Pour m'avoir fait l'honneur de siéger au sein de ce jury de thèse,
Pour votre disponibilité, votre pédagogie et votre enseignement tout au long de mon cursus
universitaire,
Veuillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance et de mon profond respect.*

A Madame le Docteur **Hélène GOEMAERE GALIERE**,
Docteur en Chirurgie Dentaire,
Praticien des Centres de soins, d'Enseignement et de Recherches Dentaires,
Département d'Odontologie Conservatrice-Endodontie,

-NANTES-

*Pour m'avoir fait l'honneur de siéger au sein de ce jury de thèse,
Pour votre enseignement et votre accompagnement lors de mes différentes années d'études,
Veuillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance et le témoignage de mon amitié.*

TABLE DES MATIERES :

1.	Introduction.....	12
2.	Ultrasons et vibrations.....	13
2.1.	Généralités.....	13
2.1.1.	Le son	13
2.1.2.	Le spectre sonore	14
2.1.3.	Les ultrasons	14
2.2.	Différents types de pièces à main.....	15
2.2.1.	Les pièces à main sonores	15
2.2.2.	Les pièces à main ultrasonores	16
2.2.2.1.	Les pièces à main magnétostrictives	16
2.2.2.2.	Les pièces à main ferro-magnétostrictives.....	17
2.2.2.3.	Les pièces à main piezoélectriques	18
2.3.	Effets biologiques des ultrasons.....	19
2.3.1.	Effets thermiques	19
2.3.2.	Effets non thermiques.....	20
2.3.2.1.	Cavitation	20
2.3.2.2.	Microcourants.....	22
2.3.2.3.	Production d'aérosols.....	22
2.3.2.4.	Réactions sonochimiques.....	24
2.4.	Effets biomécaniques des ultrasons.....	24
2.4.1.	Martèlement.....	24
2.4.2.	Balayage.....	25
2.4.3.	Abrasion.....	25
2.5.	Effets secondaires possibles à l'utilisation d'ultrasons	25
2.6.	Contre-indications.....	26
2.6.1.	Générales	26
2.6.2.	Locales.....	27
3.	Ultrasons en endodontie.....	28
3.1.	Caractéristiques des inserts ultrasonores	28
3.1.1.	La pointe	28
3.1.2.	Le revêtement.....	29
3.1.3.	L'usinage.....	29

3.1.4	La composition	29
3.1.5	Les limes ultrasonores.....	30
3.2.	Applications des ultrasons en endodontie	30
3.2.1.	La partie coronaire.....	31
3.2.1.1.	La cavité d'accès.....	31
3.2.1.1.1.	Surplombs dentinaires et calcifications pulpaire.....	31
3.2.1.1.2.	Cas particulier du pulpolithe.....	33
3.2.1.2.	L'accès canalaire.....	34
3.2.2	Partie radiculaire	35
3.2.2.1	Elimination des obstacles intracanaux.....	35
3.2.2.1.1	Ancrages corono-radiculaires	35
3.2.2.1.1.1	Tenons vissés et scellés	36
3.2.2.1.1.2	Tenons fibrés collés.....	38
3.2.2.1.2	Instruments fracturés	38
3.2.2.1.2.1	Cas particulier des cônes d'argent.....	41
3.2.2.1.3	Activation des solutions d'irrigation.....	42
3.2.2.1.3.1	Irrigation passive ultrasonique.....	42
3.2.2.1.4	Obturation canalaire.....	45
3.2.2.1.4.1	Condensation.....	45
3.2.2.1.4.2	Obturation au ciment au silicate de calcium.....	46
3.2.2.2	L'endodontie chirurgicale.....	47
3.2.2.2.1	L'accès à la zone apicale.....	48
3.2.2.2.2	La mise en forme canalaire apicale	50
4.	Conclusion	55

1. Introduction

Les ultrasons sont découverts en 1883 par le physiologiste anglais Francis Galton. Seulement, il ne parvient pas à trouver comment produire des ondes ultrasonores. Ce n'est qu'en 1915 que Paul Langevin, un physicien français, remédie à ce problème en créant le premier générateur d'ultrasons, désigné sous le nom de « triplet Langevin ». Peu à peu, le domaine d'applications des ultrasons s'élargit ; du repérage d'obstacles sous-marins aux utilisations médicales. En 1955, les ultrasons font leur apparition dans le domaine dentaire lorsque Zinner cherche des applications alternatives dans la thérapeutique parodontale. Il montre que les inserts peuvent être utilisés afin d'éliminer les dépôts exogènes sans utiliser de pâte abrasive. Il s'en suit une réelle révolution dans le traitement des pathologies parodontales.

Ce n'est que récemment que l'utilisation des ultrasons se développe en omnipratique grâce à l'apparition d'inserts spécifiques pour chacune des spécialités suivantes :

- Prophylaxie
- Parodontie
- Odontologie conservatrice
- Endodontie (traitements orthograde et rétrograde)
- Prothèse
- Chirurgie osseuse.

Le développement de ces inserts permet au praticien d'exercer une dentisterie *a minima*, notamment grâce à un effet de coupe plus contrôlé sur les tissus sains, à l'augmentation de la visibilité du champ opératoire et à un accès plus aisé aux zones difficiles d'accès.

Nous allons, dans la première partie de ce travail, définir le principe d'une onde ultrasonore et présenter les effets produits par les vibrations des inserts. Puis, dans une seconde partie nous nous attarderons sur l'application des ultrasons en endodontie. Ces propos seront illustrés par des tableaux récapitulatifs pour chacune des étapes endodontiques.

2. Ultrasons et vibrations

2.1. Généralités

2.1.1. Le son

Le son est une onde acoustique produite par une vibration, qui se propage dans un milieu élastique, provoquant une sensation auditive (1).

Trois éléments sont nécessaires à l'existence d'un son (2):

- Une source qui produit une perturbation
- Un milieu qui transmet la vibration
- Un récepteur

Une onde sonore est la propagation de proche en proche d'une perturbation caractérisée par une vibration des molécules du milieu autour de leurs positions d'équilibre (3).

En effet, suite à une perturbation, créée à l'origine par une source mécanique, les molécules subissent des variations de pression ; les molécules s'entrechoquent entre elles pour transmettre la déformation subissant ainsi de micro-déplacements. Ces molécules reviennent à leur position initiale une fois la perturbation passée ; c'est une propagation d'énergie dans un milieu matériel sans transport de matière.

La propagation de l'onde acoustique est comparable à ce qui se passe dans un ressort dont on frappe brutalement une extrémité (3). La zone frappée se comprime puis se détend, transmettant aux spires voisines cette compression qui se propage ainsi d'un bout à l'autre du ressort.

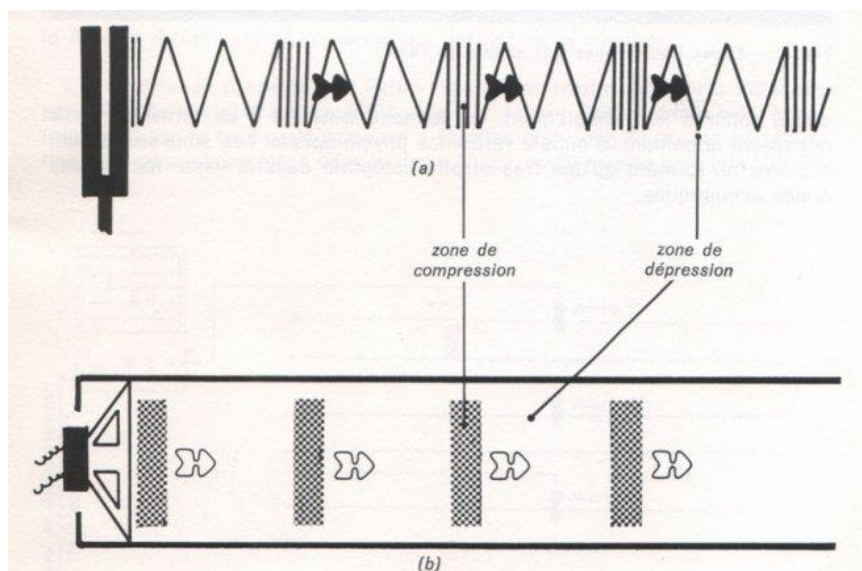


Figure n°1 : Ondes élastiques longitudinales en propagation dans un ressort (a) et un tuyau acoustique (b) (4)

Une telle onde est dite onde élastique longitudinale car la propagation des ondes se fait dans le même sens que l'onde elle-même (1).

Toutes les vibrations de nature acoustique ne donnent pas forcément une sensation auditive. Les sons audibles par l'être humain doivent avoir une intensité supérieure à 0 dB et une fréquence comprise entre 20 et 20 000 Hz (3). Ces chiffres peuvent varier suivant l'âge et les personnes. En dessous de 20 Hz, il s'agit d'infrasons et d'ultrasons au-dessus de 20 kHz (1).

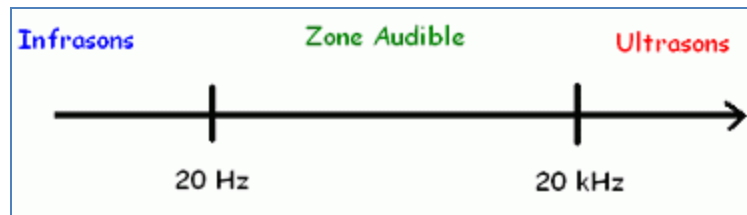


Figure n°2 : Qualification des sons en fonction des fréquences (L.RAPIN)

Les fréquences audibles par l'Homme sont généralement trop basses en énergie pour provoquer certaines réactions chimiques telles que la cavitation ou les microcourants acoustiques. Or, ce sont elles qui nous intéressent particulièrement en endodontie.

2.1.2. Le spectre sonore

Chaque son se décompose en une série d'harmoniques. L'ensemble de ces fréquences harmoniques (ou inharmoniques) représente le spectre sonore.

Les sons peuvent être définis en deux types de spectres (3):

- **Les sons fondamentaux** : ce sont la plupart des instruments de musique capables de jouer des notes, les voix humaines chantées, etc... Ces sons fondamentaux sont dits complexes car dans chacun d'eux, on distingue deux types de fréquences ; la fréquence fondamentale correspondant à la note de base jouée et les harmoniques qui sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale.
- **Les bruits** : les percussions, un marteau piqueur, un avion, etc... Avec ces sons, il est impossible de distinguer une fréquence fondamentale prédominante. Un bruit est fait de la superposition d'ondes de fréquences sans rapport entre elles, qu'on appelle des sons partiels.

2.1.3. Les ultrasons

Une onde ultrasonore est une onde mécanique sinusoïdale se propageant dans un milieu élastique (solide, liquide ou gaz) et dont la fréquence se trouve au-delà des fréquences audibles.

Les grandeurs physiques caractéristiques principales de l'onde ultrasonore sont (3) :

- la fréquence ondulatoire f (Hz)
- la longueur d'onde λ (m)
- la vitesse de propagation ou célérité c (m.s^{-1})
- la puissance P (W).

Le domaine ultrasonore est divisé entre les ultrasons de basse fréquence (20 à 100 kHz) et les ultrasons de haute fréquence (supérieure à 100 kHz). Pour les applications dentaires ou pour le nettoyage des instruments souillés, les ultrasons de puissance et de basse fréquence sont utilisés.

Lors d'un acte dentaire nécessitant l'utilisation d'ultrasons, la puissance est le seul critère que l'on peut moduler sur un générateur ultrasonore. Lorsque celle-ci est faible (inférieure à 1 W), il n'y a pas

d'interaction autre que vibratoire avec la matière ; les ultrasons n'induisent pas de modification du milieu qu'ils traversent. Cela concerne l'ensemble des applications de contrôle non destructif et de diagnostic médical.

Lorsque la puissance sonore est suffisante, le passage de l'onde ultrasonore s'accompagne de phénomènes physiques non linéaires et de transformations chimiques associées. On parle alors d'ultrasons de puissance dont l'émission est susceptible de modifier le milieu traversé.

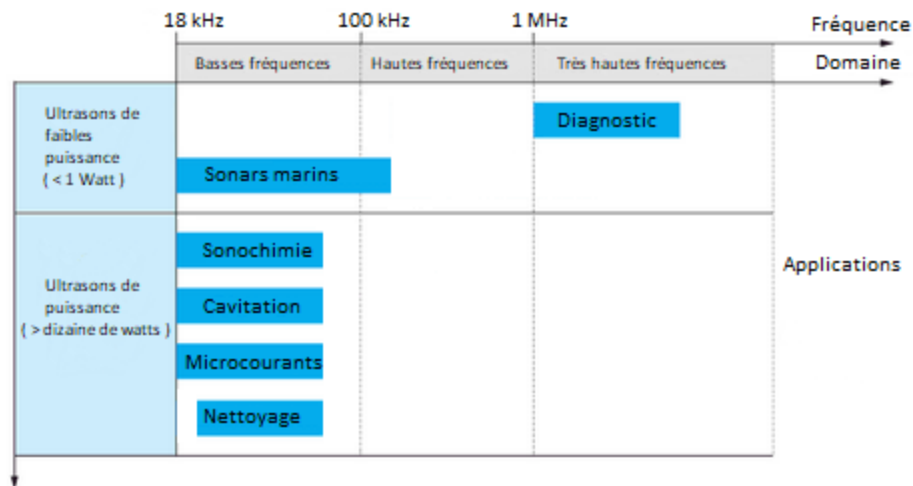


Figure n°3 : Domaine ultrasonore et ses applications (L.RAPIN)

2.2. Différents types de pièces à main

En odontologie, il existe deux types de pièces à main utilisant les ondes acoustiques : les pièces à main sonores et les pièces à main ultrasonores. Ces dernières sont subdivisées en trois groupes : les pièces à main magnétostrictives, les ferro-magnétostrictives et les piézoélectriques.

2.2.1. Les pièces à main sonores

Il s'agit d'instruments travaillant à des fréquences audibles, variant de 2 à 16 kHz (5).

Ces pièces à main sonores se connectent sur le raccord rapide de turbine et fonctionnent à l'aide d'air comprimé, faisant vibrer un insert.

La partie interne du manche est constituée d'un tube étroit et d'un moteur. Les inserts sont vissés sur la pièce à main et sont ainsi connectés au tube interne.



Figure n°4 : Section sagittale schématisée d'une pièce à main sonore a : tubulure, b : trous angulés du tube, c : tube interne (5)

Les vibrations de l'insert sonore ne sont pas générées par l'électricité mais par l'air comprimé qui est transmis aux composants internes de la pièce à main (5). L'air fourni est transféré au moyen d'un

tube (a) au travers des trous angulés (b). Le tube interne (c) commence à s'incliner et frappe le conduit vibratoire, générant ainsi des vibrations de l'insert.

Ces vibrations sont amorties par une bague de caoutchouc afin qu'aucune chaleur ne se développe (5). Aussi, pour limiter la quantité de chaleur produite par friction sur la surface dentaire, une irrigation est nécessaire. L'utilisation de ces inserts nécessite moins d'eau de refroidissement que les inserts ultrasonores (6).

Le mouvement décrit par l'insert est circulaire, ce qui lui permet d'être actif sur toutes ses faces. Sa fréquence de vibration provoque une déflexion de la pointe de l'insert de 50 à 180 μm environ, avec un déplacement maximal péri-axial (6).

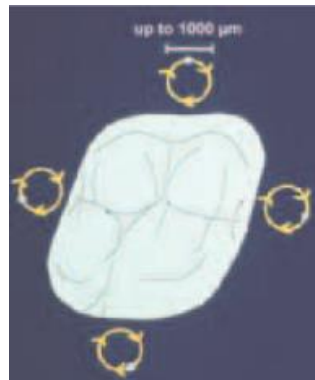


Figure n°5 : Mouvement circulaire décrit par un insert de pièce à main sonore (7)

La fréquence de vibration, inférieure à celle des pièces à main ultrasonores, est à l'origine d'un sifflement majoré. Si l'on y applique une forte pression, il ne s'ensuit pas d'abaissement du bruit de la pièce à main (5). En revanche, l'efficacité des inserts sera diminuée.

Il est intéressant de pouvoir trouver des instruments sonores sur son plateau technique d'endodontie. En effet, ils sont utiles à la réalisation d'une cavité d'accès : le SONICflex® commercialisé par Kavo® permet d'obtenir des parois lisses ; mais ils peuvent également être utiles lors de la phase d'irrigation : l'EndoActivator® commercialisé par Dentsply-Maillefer™ permet d'activer la solution d'hypochlorite de sodium afin de potentialiser ses effets (8).

2.2.2. Les pièces à main ultrasonores

Les vibrations de l'insert sont produites par un ensemble générateur-transducteur. Elles sont caractérisées par la fréquence, l'amplitude et le trajet décrit par la pointe de l'insert. La qualité du générateur, du transducteur, de l'insert ainsi qu'un bon accord entre eux permettent d'effectuer un traitement plus efficace grâce à la production de vibrations de bonne qualité (5).

Il existe deux types de phénomènes ultrasoniques : la magnétostriction et la piézoélectricité.

2.2.2.1. Les pièces à main magnétostrictives

C'est la technique la plus ancienne apparue en odontologie, avec le Cavitron® de la société américaine Dentsply®.

Elle désigne la propriété des matériaux ferromagnétiques à se déformer sous l'effet d'un champ magnétique oscillatoire. Le composant caractéristique de l'unité magnétostrictive est une gaine de fines bandes de nickel-cobalt soudées ensemble aux extrémités. Autour de ce composant est spiralé

un fil de cuivre qui génère un champ magnétique. Lorsque le courant passe, cela entraîne la contraction de cette gaine. Si ce champ magnétique est discontinu, la gaine change de forme continuellement et perpendiculairement à l'axe longitudinal, produisant ainsi des vibrations (6).

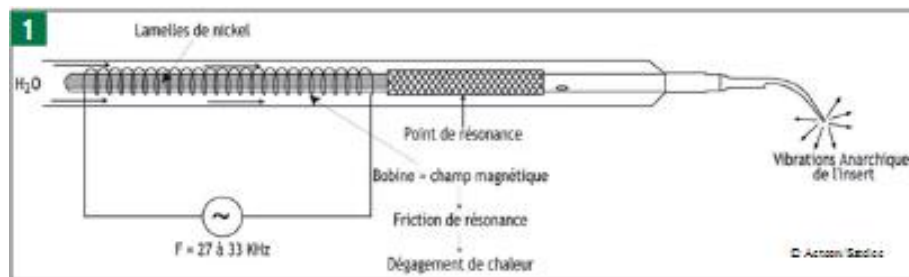


Figure n°6 : Section sagittale d'une pièce à main magnétostrictive (6)

Les changements de dimension se propagent à l'insert, provoquant un mouvement de spirale elliptique de celui-ci pouvant atteindre une amplitude de 100 μm . Ce mouvement particulier assure à l'insert une activité simultanée sur toutes les faces de celui-ci ; ce qui permet d'utiliser le côté, l'arrière ou le devant de l'insert sur la surface dentaire (5). Tous les côtés de l'insert sont efficaces (5,6).

Les pièces à main magnétostrictives ont une fréquence comprise entre 25 et 30 kHz. Cette technique nécessite une irrigation importante afin de contrôler l'échauffement des lamelles de métal (5,9) ; ce qui peut présenter un inconvénient lors de différentes utilisations endodontiques.

Les mouvements elliptiques créés par les ultrasons magnétostrictifs sont non propices aux traitements conservateurs, endodontiques chirurgicaux et non chirurgicaux. Ils seront donc exclusivement utilisés lors de traitements parodontaux (9).

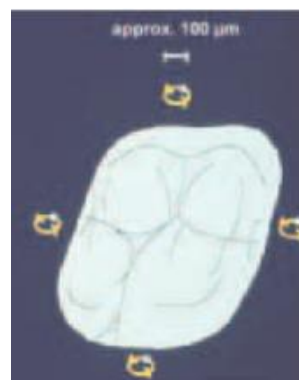


Figure n°7 : Mouvement elliptique décrit par un insert de pièce à main magnétostrictive (7)

2.2.2.2. Les pièces à main ferro-magnétostrictives

Il n'y a qu'un fabricant qui propose cette technologie, à savoir la société Danoise XO®, avec son détartreur Odontogain® (6).

La technologie est à peu près la même que celle de la magnétostriction, à ceci près que les lamelles métalliques sont remplacées par un barreau de ferrite (5). La ferrite est une céramique ferro-magnétique obtenue par moulage à hautes pressions et températures, d'oxyde de fer.

Contrairement aux lamelles métalliques des pièces à main magnétostrictives, la ferrite ne se déforme quasiment pas et permet de travailler avec des fréquences plus élevées, de l'ordre de 42 kHz. Cela induit des micro-déplacements circulaires de la pointe de l'insert, de l'ordre de 10 à 20 μm . Cette caractéristique permettrait un ressenti plus doux des détartrages pour les patients (6).

2.2.2.3. Les pièces à main piézoélectriques

Il s'agit de la plus grande famille de produits, initiés à la base par la société française *Satelec*®, avec son *Suprasson*®.

Ce type de pièce à main reprend la découverte de Paul Langevin et de son « triplet ». Celui-ci consiste en l'empilement de pastilles de céramiques serrées et mises en précontrainte entre deux masses métalliques pour éviter leur destruction. Les masses métalliques détermineront la fréquence de travail de l'ensemble.

Sous l'effet d'un signal électrique créé par un courant alterné, les céramiques piézoélectriques changent de forme (élongation et contraction) provoquant ainsi des vibrations transmises jusqu'à l'extrémité de l'insert (5).

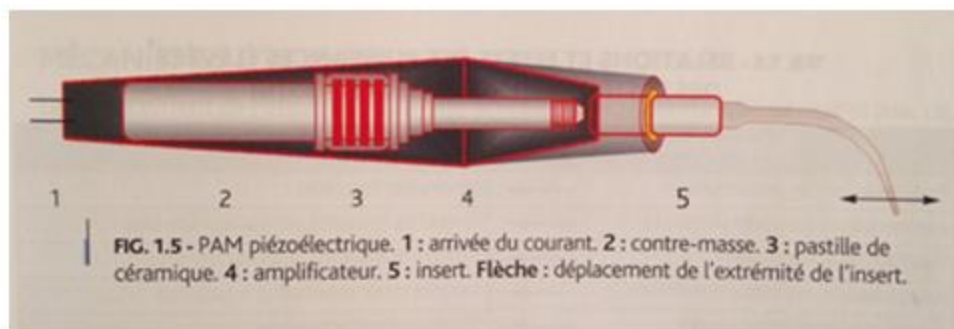


Figure n°8 : Section sagittale d'une pièce à main piézoélectrique (1)

Les pièces à main piézoélectriques ont une fréquence comprise entre 18 et 35 kHz, entraînant une vibration linéaire avec une amplitude de 12 à 100 μm (7). Par conséquent, seuls les deux côtés de l'insert sont efficaces (5). Aussi, les contractions des pastilles de céramique piézoélectrique peuvent être intensifiées mécaniquement par un « amplificateur » (sorte de masse métallique cylindrique se rétrécissant en se rapprochant de l'insert). Celui-ci permet d'augmenter le déplacement de l'extrémité de l'insert pour atteindre jusqu'à 300 μm (6). L'amplitude ne varie pas de façon linéaire en fonction de la puissance utilisée, elle est toujours différente, elle est propre à chaque insert (5,6). L'amplitude varie aussi avec la quantité de fluide utilisé : plus le débit de liquide est grand, moins le déplacement est élevé (10).

Les pièces à main piézoélectriques, représentent la grande majorité des appareils installés en cabinets dentaires, avec des marques comme *Satelec*®, *EMS*®, *Mectron*®, *Sirona*®, *Dürr-Dental*®, etc... (6)

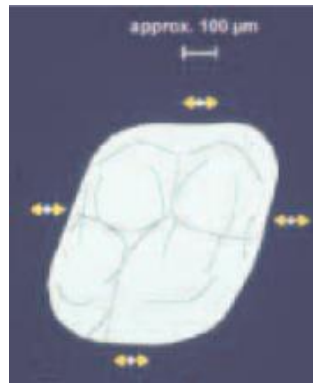


Figure n°9 : Mouvement linéaire décrit par un insert de pièce à main piezoélectrique (7)

GENERATEUR	SONORE	ULTRASONORE MAGNETOSTRICTIF	ULTRASONORE PIEZOELECTRIQUE
TRANSDUCTEUR	Rotor pneumatique	Champ magnétique	Champ électrique
MOUVEMENT			
OSCILLATIONS	Circulaires	Elliptiques	Linéaires
INSERT ACTIF SUR	Toutes ses faces	Toutes ses faces	Ses deux côtés
FREQUENCE (Hz)	2 000-16 000	25 000-30 000	25 000-40 000
AMPLITUDE (µm)	50-180	10-100	10-300

Tableau n°1 : Récapitulatif des caractéristiques des différentes pièces à main ultrasonores (1)

2.3. Effets biologiques des ultrasons

Les ondes ultrasonores se propagent dans les tissus biologiques, prolongeant ainsi l'action physique des inserts. Dans des milieux absorbants (surface dentaire, ancrages corono-radicaux, gutta percha, etc...), l'énergie mécanique des ultrasons est convertie en chaleur, engendrant ainsi des effets thermiques (1). Cependant, dans un milieu aqueux (solutions d'irrigation), les ultrasons provoquent des phénomènes de cavitation et de microcourants locaux associés à la présence de microbulles (1).

2.3.1. Effets thermiques

L'augmentation de température est un phénomène physique qui est produit par l'énergie cinétique du déplacement de l'extrémité de l'insert (1).

Les vibrations se déplacent dans les tissus/matériaux où l'énergie des ondes est en partie transformée en énergie thermique entraînant une augmentation de la température.

L'effet thermique est fonction de plusieurs facteurs modulables (temps d'utilisation, système de refroidissement, usure de l'instrument, pression exercée, etc...) mais aussi de facteurs propres à chaque tissu (densité et coefficient d'absorption) (1).

L'étape endodontique particulièrement concernée par les effets thermiques est la dépose des obstacles intracanaux (ancrages corono-radicaux, instruments fracturés, etc...) (1,5,11).

Idéalement, pour éviter la surchauffe des tissus dentaires pouvant provoquer des dommages périradiculaires, une irrigation abondante et continue est nécessaire (1,5). Cependant, la dépose d'obstacles intracanaux demande une utilisation prolongée des ultrasons nécessitant souvent une irrigation intermittente, afin d'avoir un champ de vision optimal sur la zone de travail et d'éviter toute action iatrogène. Il est donc conseillé d'effectuer une utilisation ultrasonore discontinue et d'irriguer abondamment la zone de travail lorsque l'insert est inactif (1,11).

Certains générateurs récents sont équipés de la fonction *Air Active* comme le *Pmax XS*® (12). Cette fonction permet d'envoyer un flux d'air sur la zone où l'insert travaille. Lorsque l'utilisation ultrasonore nécessite un champ sec, cette fonction est une bonne alternative pour refroidir la surface tout en utilisant de manière prolongée les ultrasons (12).

Pour d'autres actes endodontiques telles que l'obturation canalaire ou le retraitement canalaire, cette élévation de température est tout de même utile. Pour le retraitement canalaire, elle permet de ramollir les obturations à base de gutta-percha et désobturer le canal tout en étant économe au niveau tissulaire (8). Aussi, lors de la condensation latérale, cette élévation de température réchauffe la gutta-percha et la fait fuser afin d'homogénéiser l'obturation et de réduire les vides au sein du canal (1). Cette élévation thermique transmise à la périphérie radiculaire ne dépasserait pas les 10°C, seuil maximal pour le maintien de la santé périradiculaire (13).

2.3.2. Effets non thermiques

2.3.2.1. Cavitation

On appelle cavitation, la naissance et l'oscillation de bulles de gaz ou de vapeur dans un liquide soumis à une dépression (14). Cette dépression est liée aux variations de densité du liquide soumis à une onde acoustique. Lorsque la pression passe sous le seuil de cavitation, cela provoque une séparation des phases du milieu.

Lorsque l'amplitude de l'onde ultrasonore augmente, la dépression au sein du liquide devient plus grande que la force de cohésion de celui-ci ; le réseau liquide se déchire alors et des cavités (bulles) se forment.

L'apparition de la cavitation dépend d'un grand nombre de paramètres :

- la puissance, la forme et la fréquence de l'onde acoustique
- la température, la viscosité et la pression intérieure du milieu
- la présence d'impuretés et/ou de gaz dissout.

Pour obtenir un effet de cavitation optimal, il faut s'assurer de la stabilité de la fréquence de vibration et de la présence constante d'agents d'irrigation à l'extrémité de l'insert.

Afin d'avoir ce phénomène de cavitation avec une onde ultrasonore de 20 000 Hz, le seuil de puissance est de 0,5 W/cm².

La durée de vie des cavités (bulles) est courte et est uniquement déterminée par la fréquence de l'onde ultrasonore.



Figure n°10 : Formation du brouillard de cavitation lorsqu'un insert est immergé dans un liquide (5)

Lorsque des ultrasons sont émis dans une solution d'irrigation, cela forme un brouillard de cavitation. Cet effet est d'autant plus marqué au niveau des zones de l'insert où la vibration est maximale.

Au sein du liquide, les ondes créent des zones de haute pression et des zones de basse pression. Dans ces régions de basse pression, l'eau se transforme en vapeur, formant ainsi de petites bulles. Au fil des nouvelles dépressions créées par les ultrasons, ces bulles grossissent, à tel point qu'elles deviennent instables. Elles vont alors imploser de manière extrêmement violente : à l'endroit de l'implosion, la pression locale peut atteindre quelques centaines de milliers de bars, et la température des milliers de degrés.

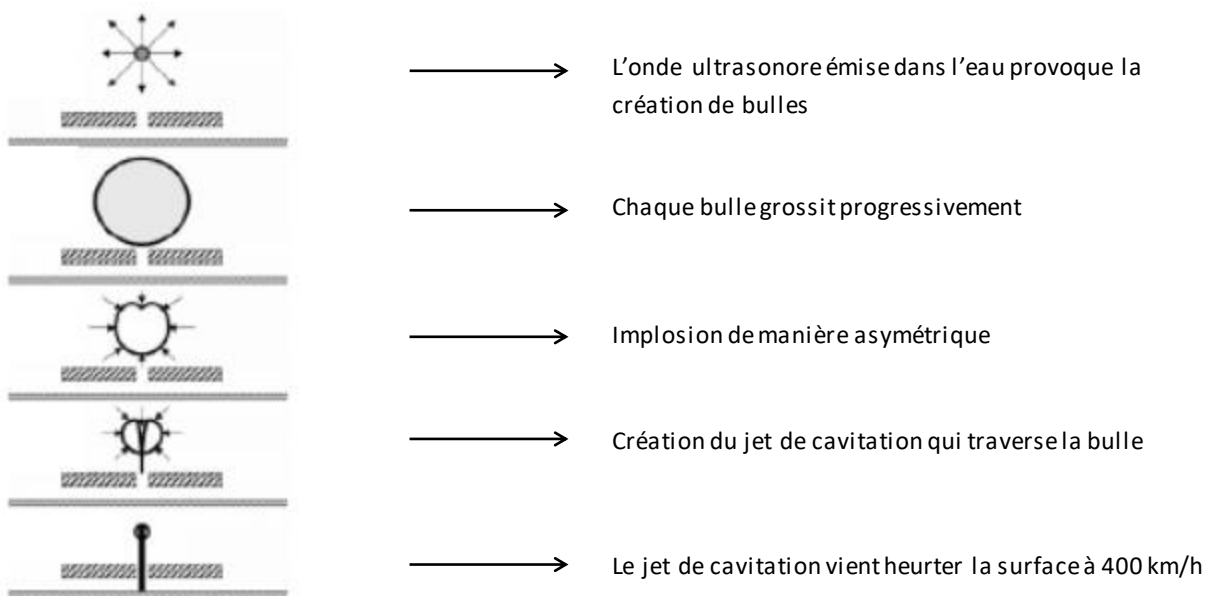


Figure n°11 : De la création d'une bulle à son implosion (15)

Ainsi, lorsque l'on irradie un milieu hétérogène liquide/solide, le jet de liquide joue un rôle très important pour le nettoyage mais induit également l'érosion de la surface du solide grâce à toutes ses microbulles qui implosent de manière asymétrique. Lors d'une activation ultrasonique de la solution d'irrigation, la cavitation est une des raisons pour laquelle les effets de l'irrigant sont potentialisés et sont à l'origine d'un meilleur nettoyage canalaire (1).

2.3.2.2. Microcourants

Lorsqu'un insert ultrasonore est immergé dans un liquide, un « tourbillon » se crée dans l'espace autour duquel l'insert se déplace. Ces courants de fluide provoquent des forces de cisaillements sur les éléments attirés à proximité de l'extrémité de l'insert.



Figure n°12 : Microcourants autour d'une lime ultrasonore (5)

En plus d'améliorer le rinçage des canaux radiculaires lors de traitements endodontiques, ces microcourants auraient aussi un effet bactéricide. En effet, en microscopie électronique à balayage (MEB), nous avons souvent observé, en périphérie des zones de travail, des images de bactéries « sectionnées » (1). Ce cisaillement serait dû à l'action des microcourants.

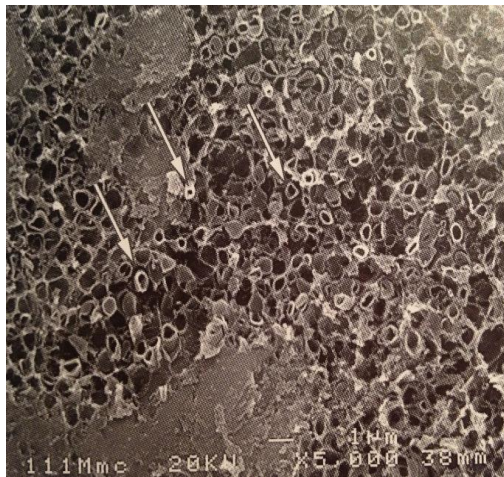


Figure n°13 : Bactéries sectionnées par l'action des microcourants (1)

Ces microcourants auraient aussi un effet thrombogénique et induiraient un saignement moindre (1). Les plaquettes et les hématies seraient, eux aussi, sensibles aux microcourants qui se produisent autour des inserts ultrasonores (1). Plus la vibration est ample, plus les ondes se propagent et plus les forces de cisaillement sont importantes entraînant la section des plaquettes et hématies.

2.3.2.3. Production d'aérosols

L'utilisation d'instruments ultrasonores sous irrigation a pour conséquence de créer un nuage d'aérosol. Cela produit une dispersion de très fines particules pouvant disséminer des microorganismes pathogènes (1).

Cette production d'aérosols est fondée sur le comportement d'une fine couche de liquide en contact avec une surface vibrante. Au-delà d'une certaine amplitude vibratoire, des gouttelettes sont arrachées à la surface du liquide et se dispersent dans l'air ambiant (5).



Figure n°14 : Nébulisation du liquide d'irrigation (1)

Les aérosols sont constitués de particules inférieures ou égales à 50µm de diamètre. Elles se trouvent sous forme liquide ou solide. Les éléments liquides sont composés de salive, de liquide d'irrigation, de microorganismes et de sang et les éléments solides sont constitués de débris de dentine, d'émail.

Les particules de l'aérosol, étant de faible poids, peuvent rester longtemps en suspension dans l'air jusqu'à 24 heures (16) et peuvent être disséminées tout autour de la zone de travail. Au cours d'une étude menée sur la production d'aérosols lors de l'utilisation d'ultrasons, Timmermann et coll. ont montré que des colonies bactériennes étaient retrouvées à une distance de 150 cm de la bouche du patient après 40 minutes d'activité ultrasonique (17). Ces bactéries aéroportées sont potentiellement néfastes pour la santé car elles peuvent pénétrer profondément dans les voies respiratoires en raison de leur petite taille. Elles augmenteraient le risque de contamination entre les patients et le personnel soignant (17).

On peut émettre des réserves sur ces résultats car ils découlent d'études effectuées lors d'actes parodontaux, lorsque la production d'aérosols est nettement plus importante que pour une utilisation endodontique.

Pour diminuer au maximum cet effet aérosol, il est possible d'agir ; soit en diminuant la puissance de la vibration, ce qui entraîne une réduction de l'amplitude de l'insert, soit en augmentant le débit d'arrivée du liquide d'irrigation, ce qui accroît la masse (1). Aussi, l'utilisation d'une aspiration à haut débit ou d'un dispositif captant le liquide d'irrigation permet de diminuer jusqu'à 95% la formation d'aérosols (18). Cependant, cette canule d'aspiration ne doit pas être placée trop près du spray afin de ne pas altérer le refroidissement de la surface dentaire et les tissus environnants (17).

Le meilleur choix est d'obtenir un débit goutte à goutte continu de l'extrémité de l'insert tout en utilisant une aspiration efficace et légèrement éloignée des surfaces en contact de l'insert pour ne pas les surchauffer (1,5).



Figure n°15 : Réglage débit/puissance pour une bonne irrigation goutte à goutte (1)

2.3.2.4. Réactions sonochimiques

La chimie sous ultrasons ou sono-chimie a été récemment découverte et utilisée dans les applications des ondes ultrasonores. En effet, les ultrasons sont désormais considérés comme des catalyseurs de réactions chimiques (1).

Les réactions sono-chimiques ne sont pas encore très explorées en odontologie mais pourront rapidement connaître de nombreuses applications (1).

On a longtemps supposé que seule l'eau pouvait être décomposée par les ultrasons en hydrogène et en eau oxygénée (1). Or, la décomposition de solutions organiques a également été démontrée. Cette décomposition donne naissance à des radicaux libres intermédiaires, utiles aux réactions d'oxydation.

L'ensemble des phénomènes produits par les ultrasons (agitation, pression, température, ionisation) a donc pour conséquence de bouleverser les mécanismes de réactions classiques. Ainsi, sous ultrasons, dans un milieu non aqueux homogène, les vitesses des réactions sont 100 000 fois supérieures (1).

Cette action sonochimique peut être une des raisons de la potentialisation des effets des solutions d'irrigation par activation ultrasonique.

2.4. Effets biomécaniques des ultrasons

Les vibrations provoquent le déplacement de l'insert. Ce déplacement a plusieurs effets (1) :

- Un effet de martèlement lorsque l'insert heurte de face l'objet à déposer
- Un effet de balayage lorsque l'insert est positionné tangentiellement à la surface
- Un effet abrasif grâce au revêtement ou à l'usinage des inserts.

2.4.1. Martèlement

Le martèlement est l'action de l'insert heurtant une surface (1). En endodontie, il est souvent recherché pour la dépose des obstacles intracanaux scellés ou vissés (tenons, cônes d'argent, instruments fracturés).

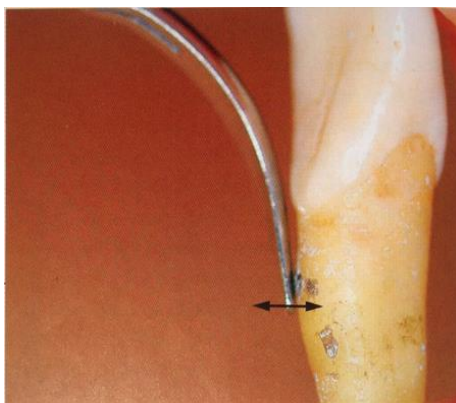


Figure n°16 : Action du martèlement (1)

La fréquence de vibrations se traduit par l'action répétée du martèlement de l'insert.

La percussion de l'insert provoque une résonance de l'objet, facilitant ainsi son retrait.

Le contact entre l'extrémité travaillante et la surface à traiter doit être le plus tangential possible (1,9). Seule l'extrémité travaillante doit heurter frontalement l'objet que l'on cherche à déposer.

La force de l'impact dépend de l'amplitude de la vibration. Plus l'impact est fort, plus la résonnance de l'objet est importante mais plus les risques de destruction tissulaire sont importants. Lorsque des amplitudes élevées sont utilisées, le contrôle de la précision de l'impact doit se faire avec des aides optiques.

2.4.2. Balayage

Le balayage est l'action du déplacement de l'insert tangentiellement à l'objet (1).

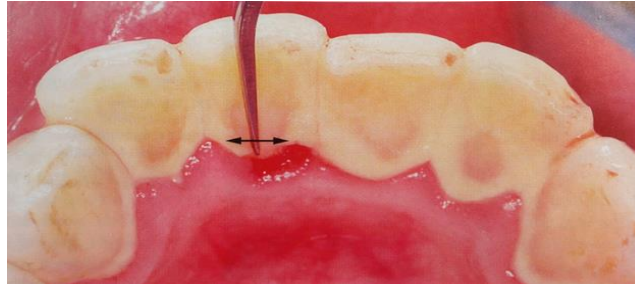


Figure n°17 : Action du balayage (1)

Cliniquement, le va-et-vient de l'insert possède plusieurs actions. Il permet d'éliminer les dépôts peu adhérents à la surface, de brunir, polir ou abraser la surface en contact par frottement. Cette action est utilisée notamment en parodontie, odontologie conservatrice et en prothèse.

2.4.3. Abrasion

Les capacités d'abrasion de l'instrumentation ultrasonore sont apparues avec les inserts revêtus (1). Elles sont dépendantes de la qualité du revêtement et de la dureté des tissus. Plus le grain du revêtement est gros et plus il est abrasif. Plus le tissu est dur et plus l'effet abrasif est efficace. *A contrario*, il n'y a pas d'abrasion sur les tissus mous.

Lors d'un traitement endodontique, l'abrasion est essentielle pour la mise en forme de la cavité d'accès, la recherche des entrées canalaire et la dépose d'obstacles intracanaux.

2.5. Effets secondaires possibles à l'utilisation d'ultrasons

En cas d'application non rigoureuse et non adaptée, l'utilisation des ultrasons peut engendrer quelques effets néfastes. En effet, elle risque d'endommager les matériaux de restaurations, augmenter l'incidence des bactériémies mais aussi altérer l'audition du praticien et de son patient (5).

En endodontie, seuls les dommages sur l'audition du patient et de l'opérateur peuvent être de potentiels effets secondaires à l'utilisation des ultrasons.

Un instrument ultrasonore est un danger potentiel pour l'appareil auditif du patient et de l'opérateur. La percussion de l'insert provoque une résonnance de l'objet. C'est cette résonnance qui produit des sons. L'intensité sonore varie avec l'amplitude du mouvement vibratoire : plus l'amplitude est élevée, plus l'intensité est grande (1,5). Celle-ci peut dépasser 85 dB.

A partir de 85 dB, le son devient pénible et nocif. Il est difficile de savoir si le nombre de décibels produits par un insert ultrasonore reste toujours en dessous de ce seuil. Une étude a donné la mesure de 95 dB comme étant le niveau de son le plus élevé (19).

Plusieurs études ont démontré les effets néfastes de l'environnement bruyant du cabinet dentaire sur l'audition des chirurgiens-dentistes (19,20). Ceux-ci sont surtout causés par les bruits des turbines à air, des pièces à main sonores/ultrasonores et des aspirations. Les plus courants sont :

- La fatigue auditive
- Les acouphènes
- Les hypoacusies
- La surdité professionnelle

Des dommages peuvent également apparaître chez le patient lors du transfert de l'énergie ultrasonique au travers des dents et de l'os alvéolaire jusqu'à l'oreille interne. Un symptôme précoce d'atteinte de l'audition, ou acouphène, a été décrit après utilisation des instruments ultrasonores (21). Ces dommages semblent se produire en premier lieu au cours du traitement des molaires (5).

Quant aux patients porteurs d'une prothèse auditive, ils doivent être prévenus et éteindre leur appareil afin d'éviter un feed-back acoustique (5).

Si l'opérateur est gêné, ou si le son périphérique produit par un équipement ultrasonique est dérangeant, des protèges-tympons confectionnés avec un filtre sélectif pour des sons élevés sont recommandés.

2.6. Contre-indications

2.6.1. Générales

La plus grande qualité des ultrasons en endodontie réside dans le fait qu'il n'existe pas de réelles contre-indications à leur utilisation.

Il faut toutefois rester prudent face aux patients présentant un haut risque infectieux et aux patients immuno-déprimés. Chez ces patients, il est préférable de travailler le plus possible avec des instruments rotatifs standards bien qu'il n'existe aucune preuve que des maladies graves puissent se contracter via l'effet aérosol des ultrasons (5). Pour les patients présentant une faible résistance immunitaire le port d'un masque leur recouvrant le nez, pour éviter que les aérosols infectés ne viennent contaminer leurs voies respiratoires, est préconisé (5).

Des précautions sont à prendre face aux patients présentant des dispositifs cardiaques implantables. En effet, certains ont attribué aux instruments ultrasonores l'interférence électrique nuisant à leur bon fonctionnement (5). Aujourd'hui, l'utilisation des appareils à ultrasons chez les patients porteurs de dispositifs implantables suscite toujours la controverse.

Certaines études ont démontré que les dispositifs ultrasonores magnétostrictifs pouvaient nuire au fonctionnement des stimulateurs cardiaques, mais que les piézoélectriques n'avaient aucun effet sur eux (22,23). D'autres études ont conclu que les localisateurs d'apex électroniques ne nuisait pas au fonctionnement des stimulateurs cardiaques ou des défibrillateurs automatiques implantables (24).

Il est difficile d'élaborer des lignes directrices faisant autorité sur l'utilisation des instruments ultrasonores chez les patients porteurs de dispositifs cardiovasculaires électroniques implantables, en raison du manque de cohérence des preuves à l'appui. Il faut donc adopter une démarche pratique et prudente pour l'utilisation de ces appareils chez ces patients : utiliser le plus possible les rotatifs standards, éviter l'utilisation de localisateur d'apex électronique, reporter le nettoyage des instruments dans les bacs à ultrasons (25,26).

2.6.2. Locales

En endodontie, il n'existe pas véritablement de contre-indications locales à l'utilisation d'ultrasons. Nous parlons davantage de limites.

Avant tout traitement endodontique, il convient d'analyser rigoureusement la situation clinique et radiographique (en 2D ou 3D). Cela permet de réaliser une planification endodontique et d'adapter précisément l'insert ultrasonore à chacune des étapes de cette planification. L'insert est choisi en fonction de sa longueur, de son diamètre, de sa composition, de son revêtement et de son extrémité. Malheureusement, certaines situations cliniques ne permettent pas leur utilisation. En effet, lorsque l'anatomie canalaire est excessivement complexe (courbure importante, accès impossible, calcification intracanaire importante, etc...) ou lorsque la valeur intrinsèque de la dent est défavorable, les ultrasons s'avèrent inutiles.

De même, l'utilisation des inserts en endodontie nécessite un champ de vision optimal pour un geste précis et minutieux. Il convient donc de travailler sous aide optique (lunettes ou microscope) afin de garantir une meilleure vision, une précision, un respect de l'économie tissulaire et d'éviter ainsi toute action délétère sur l'organe dentaire (1,8,9).

3. Ultrasons en endodontie

3.1. Caractéristiques des inserts ultrasonores

A ce jour, il existe une grande variété d'inserts ultrasonores, à la fois pour le traitement endodontique orthograde et rétrograde. Ceux-ci peuvent être utilisés sur différents dispositifs à ultrasons piézoélectriques.

Chacun des inserts ultrasonores possède des caractéristiques qui lui sont propres et qui lui confèrent une utilisation précise au cours des étapes du traitement endodontique.



Figure n°18 : Caractéristiques des inserts ultrasonores (27)

3.1.1. La pointe

Chaque insert ultrasonore est composé de trois parties :

- La partie cervicale qui le relie à la pièce à main ultrasonore
- Le corps
- La pointe ou l'extrémité

La pointe de l'insert peut être active ou non active. On parle de pointe active lorsque cette dernière est travaillante sur les surfaces avec lesquelles elle est en contact. Elle est extrêmement efficace pour l'éviction d'obstacles intracavaires (pulpolithes, tenons fibrés, etc...) lorsque la visibilité est bonne et qu'il existe un très faible risque d'action iatrogène (1). La pointe lisse est utile lorsque l'action de coupe n'est pas nécessaire sur la pointe mais sur le corps de l'instrument. Ce qui est particulièrement utile pour l'élimination de surplombs dentinaires et d'obstacles intracavaires (instruments fracturés, tenons vissés, etc...).

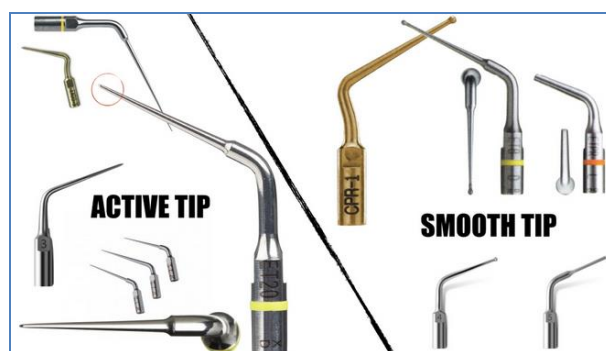


Figure n°19 : Exemples d'inserts ultrasonores à pointe active [à gauche] et non-active [à droite] (27)

3.1.2. Le revêtement

Les inserts peuvent être revêtus ou non. Ce revêtement est très souvent fait de diamant mais également de zirconium. Il est destiné à augmenter leur efficacité de coupe (9).

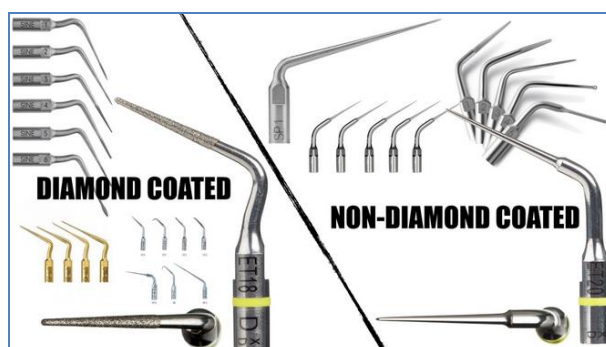


Figure n°20 : Exemples d'inserts ultrasoniques revêtus de diamant [à gauche] et lisses [à droite] (27)

3.1.3. L'usinage

Parmi les inserts non revêtus, on trouve ceux avec une surface lisse et ceux avec une surface striée. Ces inserts striés ont une capacité de coupe latérale plus grande grâce à leurs micro-lames (9).

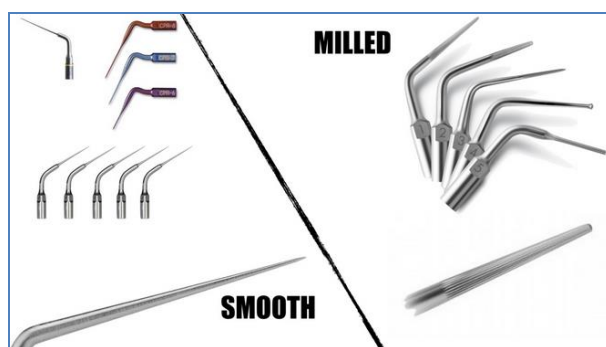


Figure n°21 : Exemples d'inserts ultrasoniques lisses [à gauche] ou striés [à droite] (27)

3.1.4 La composition

Les inserts ultrasonores sont en acier inoxydable ou en alliage de titane.

L'alliage de titane (Titane-Niobium) permet d'améliorer la qualité de transmission des vibrations ultrasonores et augmente la résistance mécanique de ces inserts (28). Ces instruments sûrs et fiables sont des outils précieux dans la gestion de situations endodontiques complexes.

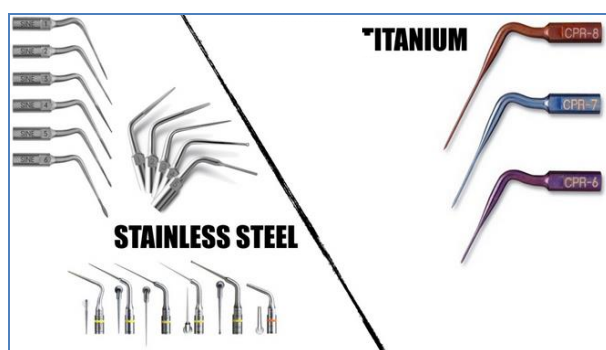


Figure n°22 : Exemples d'inserts en acier inoxydable [à gauche] ou en alliage de titane [à droite] (27)

3.1.5 Les limes ultrasonores

Les instruments ultrasonores utilisés en endodontie se présentent sous forme d'inserts mais aussi de limes. Celles-ci sont utilisées pour (1,8,29) :

- L'activation des irrigants accroissant leur efficacité
- L'élimination des obstacles intracanaux, notamment positionnés dans le tiers apical canalaire
- L'élimination de la dentine calcifiée ou la gutta percha
- La pose de MTA dans le tiers apical canalaire.



Figure n°23 : Exemples de limes ultrasonores (27)

3.2. Applications des ultrasons en endodontie

Les inserts ultrasonores peuvent être utilisés à différents stades du traitement endodontique, de l'aménagement de la cavité d'accès à l'obturation canalaire. Les effets physiques et biologiques recherchés lors de ces étapes sont différents et nécessitent l'utilisation d'inserts de profils et de modes d'action distincts.

Il convient d'établir une classification clinique en fonction de la zone à traiter (8). Pour cela, on divise la dent en deux parties :

- La partie coronaire (chambre pulpaire, accès canalaire)
- La partie radiculaire (tiers coronaire, tiers moyen et tiers apical canalaire)

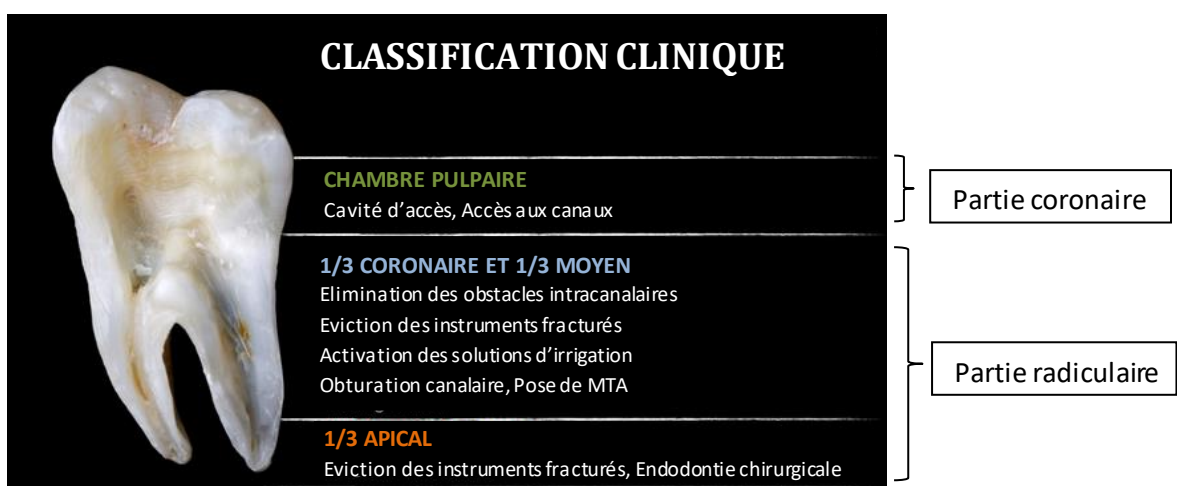


Figure n°24 : Classification clinique en fonction des zones à traiter (30)

3.2.1. La partie coronaire

3.2.1.1. La cavité d'accès

La réalisation de la cavité d'accès constitue une étape clé du traitement endodontique. Cette cavité d'accès consiste en la réalisation d'une voie d'accès intracoronaire de forme, de dimension et de position bien déterminée. Celle-ci doit permettre un accès direct à l'orifice des canaux, mais également un accès vers le foramen apical pour assurer aux instruments un mouvement sans contrainte pendant la préparation du canal.

L'accès aux entrées canalaires implique donc l'élimination de tout surplomb dentinaire et de toute calcification intracamérale pouvant les dissimuler (1,8).

3.2.1.1.1. Surplombs dentinaires et calcifications pulpaire

Lors de la préparation de la cavité d'accès (CA), dès que l'effraction d'une corne pulpaire est faite, la fraise *Endo Zekrya* en carbure de tungstène est souvent utilisée afin d'éliminer tout le plafond pulpaire (28). En revanche, des surplombs dentinaires peuvent persister, empêchant alors la découverte de tous les canaux.

Les inserts ultrasonores facilitent l'élimination de ces surplombs, avec une plus grande précision et une meilleure efficacité de coupe, tout en diminuant le risque d'action iatrogène (9,28).

En effet, ceux-ci assurent une bien meilleure visibilité de la zone de travail : l'absence de tête de turbine ou contre-angle permettant un meilleur positionnement. Ils seront d'autant plus utiles lorsque l'ouverture buccale est limitée, notamment dans les secteurs molaires (1,28).



Figure n°25 : Aménagement d'une cavité d'accès sous microscope, à l'aide d'une turbine [à gauche] et à l'aide d'un insert ultrasonore [à droite] (1)

Afin de supprimer tout surplomb dentinaire ou calcification pulpaire résiduel, on utilise des inserts en acier, abrasifs, de forme cylindro-conique (1). Il s'agit d'inserts en forme de sonde droite dont la partie travaillante est abrasive (revêtue ou micro-lames). Ceux-ci comportent soit une pointe mousse soit une pointe active.

L'utilisation de ces inserts se fait préférentiellement sous aides optiques, surtout avec des inserts à pointe travaillante, et, sans irrigation, afin de toujours avoir un champ de vision optimal (1,9,28). Un flux d'irrigant séquentiel est tout de même recommandé afin de nettoyer la cavité d'accès et refroidir les inserts (1,28).

Les inserts sont utilisés à puissance moyenne. Si la puissance des ultrasons est trop forte, l'action de coupe est trop agressive, augmentant le risque de perforation et de création de formes aberrantes de la chambre pulpaire (9).

Quel que soit l'insert, l'application est la même. Celui-ci est positionné sur la zone de travail, puis, sa partie travaillante est déplacée selon un mouvement léger de brossage avec une pression latérale aussi faible que possible (1). Il faut tout de même être très prudent avec les inserts à pointe active ! Ceux-ci doivent effleurer le plancher pulpaire si l'on veut éviter toute perforation. Les inserts à pointe mousse peuvent, eux, effectuer leur action de balayage latéral en étant constamment en contact avec le plancher (1).

TYPE D'INSERT	POINTE	ACTION	EXEMPLES D'INSERTS	CARACTERISTIQUES
Abrasif	Non active	Elimination des surplombs dentinaires	Insert Cap1® du kit Endosuccess Canal Access Prep d'Acteon™ :  Insert Start-X1® de Denstply™ : 	- Insert micro-lames - Longueur 12 mm - Conicité 6% - Insert micro-lames
Abrasif	Active	Elimination des calcifications pulpaire	Insert ET18D® d'Acteon™ : 	- Insert diamanté 76µm - Longueur 18mm - Conicité 5%

Tableau n°2 : Récapitulatif des inserts utilisés pour la réalisation de la cavité d'accès (L.RAPIN)

AVANTAGES	INCONVENIENTS
- Grande précision liée au dégagement visuel du champ opératoire - Plus de contrôle de l'activité abrasive car aucune activité rotative - Réduction du temps des étapes endodontiques suivantes	- Risque de perforation en cas de travail sur la pointe avec un insert à pointe active - Risque d'encrassement de l'insert - Risque d'échauffement des tissus dentaires - Nécessité d'aide optique - Usure rapide : coût

Tableau n°3 : Avantages et inconvénients des inserts ultrasonores lors de l'aménagement d'une cavité d'accès (1,8,9,28)

3.2.1.1.2. Cas particulier du pulpolithe (28,31–33)

Tout traitement canalaire doit faire l'objet d'une évaluation clinique et radiographique minutieuse. Celle-ci permet de planifier la réalisation des différentes étapes endodontiques et ainsi de simplifier la procédure.

Si la présence d'un pulpolithe dans la chambre pulpaire est soupçonnée, il convient d'être très rigoureux et vigilant durant les premières étapes du traitement endodontique. Tout d'abord, il faut réaliser une forme de cavité d'accès classique, puis, lors de l'arrivée dans la chambre pulpaire (sans sensation de chute dans le vide), l'étendue du pulpolithe peut être repérée grâce à une ligne de démarcation colorimétrique, parfois hémorragique si la pulpe est vitale. A ce moment-là, des inserts ultrasonores abrasifs cylindro-coniques à pointe active sont utilisés. Ils permettent d'élargir cette zone (ligne de démarcation) jusqu'à détourner complètement le pulpolithe. Puis, à l'aide d'une instrumentation appropriée, tels que les excavateurs endodontiques, il est possible de mobiliser le pulpolithe et ainsi l'éliminer. En revanche, il arrive que le pulpolithe reste adhérent au plancher pulpaire. Dans ce cas, il est préférable de l'abraser délicatement au niveau des entrées canalaires, puis de l'éliminer en progressant de manière centripète, tout en prenant garde à ne pas léser le plancher pulpaire.



Figure n°26 : Chronologie de l'éviction d'un pulpolithe (31)

FORME	TYPE D'INSERT	ACTION	EXEMPLE D'INSERT	CARACTERISTIQUES
Cylindro-coniques à pointe très active	Abrasif	Détourner le pulpolithe	Insert Cap3® du kit Endosuccess Canal Access Prep d'Acteon™ : 	- Insert micro-lames - Longueur 8 mm - Conicité 6% - Pointe très active
Sphérique	Abrasif	Eliminer le pulpolithe adhérent	Insert ETBD® d'Acteon™ 	- Insert boule diamantée 46µm - Longueur 20 mm - Conicité 5% - Pointe active - Partie latérale non active

Tableau n°4 : Récapitulatif des inserts utilisés pour l'élimination des pulpolithes (L.RAPIN)

3.2.1.2. L'accès canalaire

Le préalable à tout traitement endodontique est l'analyse rigoureuse du ou des examens radiographiques (en 2D ou 3D). Cette planification permet de guider l'utilisation des ultrasons.

Une fois la cavité d'accès soigneusement préparée, toutes les entrées canales doivent être localisées. Celles-ci sont parfois introuvables ; calcifiées ou dissimulées par une apposition dentinaire.

Une fois encore, les aides optiques aident à repérer ces entrées, tout comme l'usage d'hypochlorite de sodium (en recherchant des bulles aux entrées canales). La sonde DG-16 est également indiquée pour localiser les entrées canales (8).

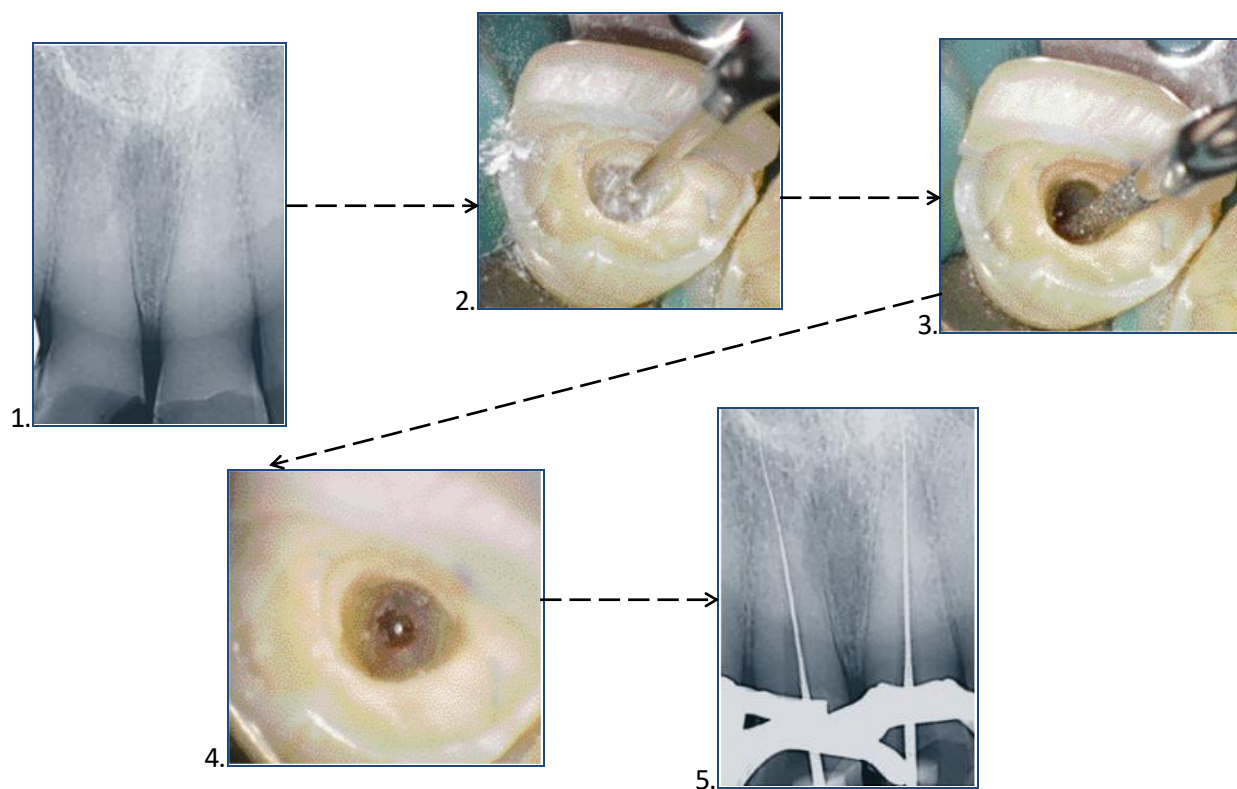
On utilise habituellement des fraises long-col afin de suivre, sous microscope, les colorations dentinaires (28). En revanche, il arrive que la tête du contre-angle ou turbine gêne notre champ visuel (28). Les inserts ultrasonores, grâce à leur coudure et leur pointe environ 10 fois plus petite que les plus petites fraises boule disponibles, permettent de garder un contrôle constant sur la zone de travail (28).

Pour explorer le plancher pulpaire et localiser toutes les entrées canales, les inserts ultrasonores utilisés sont en acier, abrasifs, en forme de boule (1,8,28). Il s'agit d'inserts dont l'extrémité travaillante sphérique est recouverte d'un revêtement abrasif. Des inserts abrasifs de forme cylindro-coniques à pointe active peuvent compléter l'action des inserts sphériques (1,9,28).

Ces deux types d'inserts sont utilisés de la même façon : directement positionnés sur la zone de travail, à puissance moyenne et avec une irrigation intermittente (1). Leur partie travaillante est déplacée avec un mouvement de léger brossage sans pression latérale, l'action instrumentale s'exerçant principalement sur la dentine secondaire (plutôt blanchâtre, opaque) en respectant le plancher pulpaire d'aspect sombre et nacré (1,28). Les inserts abrasifs cylindro-coniques ont un réel avantage comparés aux inserts « boule » ; leur partie latérale est également travaillante : ce qui permet de créer un accès direct au canal tout en dégagant son entrée (1).

FORME	TYPE D'INSERT	ACTION	EXEMPLES D'INSERTS	CARACTERISTIQUES
Sphérique	Abrasif	Recherche canalaire, localisation des entrées calcifiées	Insert ETBD® d'Acteon™ : 	- Insert boule diamanté 46µm - Longueur 20 mm - Conicité 5% - Pointe active - Partie latérale non active
Cylindro-conique	Abrasif	Créer un accès direct au canal	Insert ET18D® d'Acteon™ :  Insert Start-X™ 2 de Dentsply Maillefer™ : 	- Insert diamanté 76 µm - Longueur 18mm - Conicité 5% - Pointe active - Partie latérale active - Insert micro-lames - Pointe active - Partie latérale active

Tableau n°5 : Récapitulatif des inserts utilisés pour la recherche et l'accès canalaire (L.RAPIN)



- 1) Incisives centrales supérieures fortement calcifiées
- 2) Utilisation d'un insert ETBD® pour la recherche canalaire
- 3) Utilisation d'un insert ET18D® pour l'élimination des surplombs dentinaires
- 4) Vue sous microscope du canal calcifié
- 5) Radiographie limes en place des deux incisives.

Figure n°27 : Chronologie de la création d'un accès sur un canal calcifié (28).

AVANTAGES	INCONVENIENTS
- Dégagement du champ opératoire, meilleure visibilité sous aide optique - Plus de contrôle de l'activité abrasive car aucune activité rotative	- Risque de perforation en cas de travail à forte pression et à puissance élevée - Risque d'encrassement de l'insert - Risque d'échauffement - Nécessité d'aide optique - Usure rapide : coût

Tableau n°6 : Avantages et inconvénient de l'utilisation des inserts ultrasonores lors de la localisation des entrées canalaire (1,8,9)

3.2.2 Partie radiculaire

3.2.2.1 Elimination des obstacles intracanaux

3.2.2.1.1 Ancrages corono-radicaux

La précision des systèmes ultrasonores permet la dépose des ancrages corono-radicaux en respectant les tissus dentaires et en réduisant les risques de dommages radicaux (9). Le succès de cette dépose et le choix de l'insert dépendent de la précision du diagnostic et de celle du geste thérapeutique.

Le diagnostic radiographique est primordial et permet de préciser (1) :

- La morphologie radiculaire de la dent à traiter (longueur et largeur des racines, présence de courbures, etc...)
- La longueur du tenon à déposer, son diamètre
- La direction intraradiculaire et son extension dans la chambre pulpaire
- Le type d'ancrage à déposer (métallique, vis, fibré).

TENON	INSERT	ACTION	APPLICATION
VISSE	Métal lisse	Martèlement	Rotation inverse
SCELLE	Métal lisse	Martèlement	Latérale
FIBRE COLLE	Métal diamanté	Abrasion	Balayage

Tableau n°7 : Recommandations pour la dépose des ancrages corono-radiculaires (1)

3.2.2.1.1.1 Tenons vissés et scellés

Les inserts ultrasonores utilisés pour la dépose de ces deux types d'ancrages corono-radiculaires peuvent être en acier ou en alliage de titane. Ces derniers permettraient une parfaite transmission des vibrations ultrasonores et une meilleure flexibilité (28).

Ils sont de plusieurs formes (en « bâton de cloche », tronconiques ou cylindro-coniques), de surface lisse ou abrasive et de longueur variable.

Pour déposer un tenon scellé ou vissé, la démarche consiste à (1,8,34–36) :

- 1) **Retirer prudemment le matériau de restauration coronaire** à l'aide d'une turbine de façon concentrique, de la périphérie de la restauration vers l'ancrage, de façon à ne pas endommager la tête du tenon.
- 2) **Lorsque celle-ci est dégagée, les fragments résiduels du matériau de restauration ainsi que les résidus de ciment sont éliminés.** Pour cela, un insert ultrasonore lisse ou abrasif est utilisé à forte puissance en effectuant un léger mouvement de brossage sur la périphérie du tenon. Cela permet de créer un espace autour de l'ancrage corono-radiculaire afin d'augmenter sa surface de contact avec les inserts ultrasonores.
- 3) **Puis, la partie émergente du tenon est vibrée avec un insert ultrasonore lisse jusqu'à l'obtention du descellement du tenon.** L'utilisation de ces inserts se fait sous puissance maximale et avec une irrigation continue. Le temps de descellement varie de 1 à 10 minutes ; il est impératif de respecter l'abondance de l'irrigation afin d'éviter le transfert de chaleur vers les tissus parodontaux susceptible de provoquer une nécrose du tissu avoisinant. L'insert doit être positionné avec un contact maximal du tenon pour avoir une action de martèlement optimale. C'est ce martèlement qui provoque la fragmentation du ciment de scellement et donc, la dépose du tenon.

Aussi, pour augmenter la résonance et l'efficacité de la vibration, un manche de miroir peut être placé en opposition à l'insert.

La conduction des forces vibratoires au sein d'un matériau est fonction de son module d'élasticité. Or, celui du métal étant élevé, cela permet d'avoir une action ultrasonique très efficace.

S'il s'agit d'un tenon vissé, l'insert est tourné en sens anti-horaire autour de la tête du tenon. Ces inserts lisses permettent le martèlement des tenons métalliques.

Les inserts courts seront destinés aux interventions coronaires et les inserts plus longs et plus fins, ET25S® (*Acteon™*) et Endo 6 (*ProUltra®* de *Dentsply Maillefer™*), seront destinés aux interventions dans le tiers médian du canal.

- 4) **Une fois le tenon descellé, le ciment de scellement restant est retiré** avec un insert ultrasonore fin lisse ou abrasif en fonction de la nature du ciment de scellement.

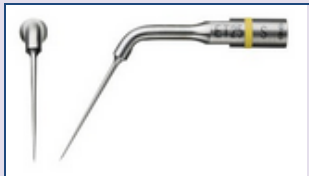
FORME	TYPE D'INSERT	ACTION	EXEMPLES D'INSERTS
« Bâton de cloche »	Abrasif	Dégagement de l'extrémité coronaire du tenon et élimination du ciment entourant le tenon	Insert Endo 1 <i>ProUltra®</i> de <i>Dentsply Maillefer™</i> : 
	Lisse	Martèlement du tenon au niveau coronaire	Insert Start-X™ 4 de <i>Dentsply Maillefer™</i> : 
Tronconique court	Lisse	Martèlement du tenon au niveau coronaire	Insert ETPR® d' <i>Acteon™</i> : 
Cylindro-conique long	Lisse	Martèlement du tenon en direction apicale	Insert ET25S® d' <i>Acteon™</i> 16mm : 
			Insert Endo 6 <i>ProUltra®</i> de <i>Dentsply Maillefer™</i> 20mm : 
Cylindro-conique long	Abrasif	Elimination du ciment restant après dépose du tenon	Insert Endo 3 <i>ProUltra®</i> de <i>Dentsply Maillefer™</i> : 

Tableau n°8 : Récapitulatif des inserts utilisés pour la dépose des tenons vissés/scellés (L.RAPIN)

3.2.2.1.1.2 Tenons fibrés collés

La dépose des tenons fibrés collés se fait à l'aide d'inserts ultrasonores abrasifs (1,9). Ils sont plus compliqués à retirer que les tenons vissés ou scellés. En effet, les tenons fibrés collés à l'aide de résine composite possèdent un module d'élasticité très faible qui empêche la transmission des vibrations et l'efficacité des ultrasons. Les résines composites étant peu friables, les vibrations ultrasonores ne peuvent pas produire de micro-fractures au sein du matériau de collage. Ces tenons seront donc éliminés par usure et abrasion (9).

Les inserts ultrasonores utilisés pour la dépose de ces ancrages peuvent être en acier ou en alliage de titane. Ils sont de longueur variable comprise entre 17 et 24 mm. Leurs extrémités travaillantes sont diamantées pour les inserts ET18D® et ET20D® de *Acteon*™ et recouvertes de nitrate de zirconium pour les inserts Endo 3 et Endo 4 ProUltra® de *Dentsply*™.

L'ensemble du tenon et du composite est éliminé par touches successives jusqu'à voir les parois radiculaires depuis l'entrée canalaire jusqu'au matériau d'obturation endodontique. Les tenons fibrés blancs sont plus difficiles à déposer que des tenons noirs en carbone car le contraste avec la couleur dentinaire est beaucoup plus faible (9). Si la pointe de l'insert fait apparaître des rayures grises lors de son application, cela signifie qu'il reste encore de la résine composite (1,9).

La dépose de ces tenons est effectuée idéalement sous aide optique, avec une vision constante sur la pointe ultrasonore et la partie coronaire du tenon. Les inserts sont utilisés à puissance modérée et sans eau (1,9,37). En effet, le dégagement important de chaleur altérerait les propriétés de la résine composite et diminuerait ainsi la rétention de l'ancrage collé (8,37). Pour les utilisations ultrasoniques sans eau, il conviendra de refroidir régulièrement la zone de travail afin de nettoyer le canal des restes de résine et de dentine, et d'éviter une surchauffe excessive qui pourrait provoquer des dommages parodontaux (1,9,35).

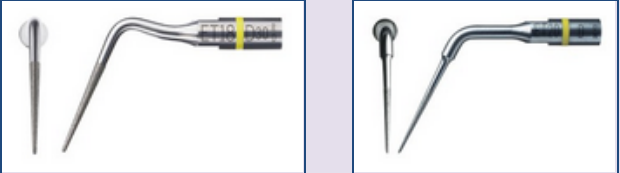
FORME	TYPE D'INSERT	ACTION	EXEMPLES D'INSERTS
Cylindro-conique	Abrasif	Elimination des tenons fibrés collés	Insert ET18D® et ET20D® d'Acteon™ :  Inserts Endo 3 et 4 ProUltra® de Dentsply Maillefer™ : 

Tableau n°9 : Récapitulatif des inserts utilisés pour la dépose des tenons fibrés collés (L.RAPIN)

3.2.2.1.2 Instruments fracturés

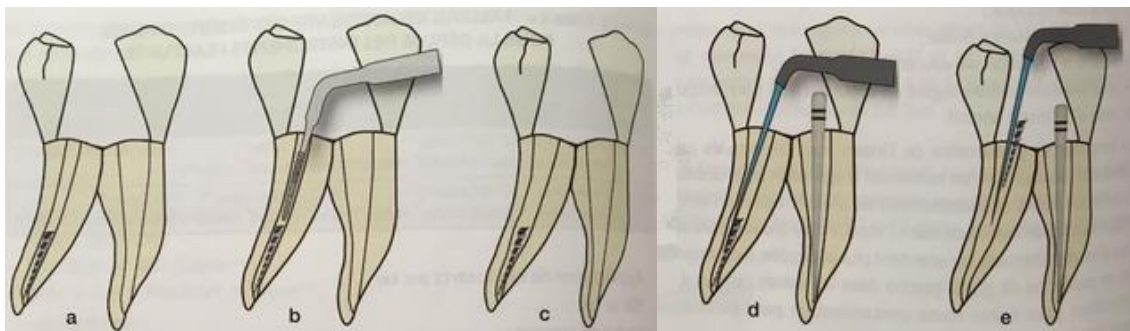
La fracture intracanaire des instruments endodontiques entrave les procédures de nettoyage, de mise en forme et d'obturation du système canalaire, avec un impact potentiel sur le résultat du traitement. Le principal facteur prédictif du résultat dans le cas d'un instrument fracturé serait la présence ou l'absence d'une pathologie périapicale préopératoire (38). Le rapport

bénéfice/risque des deux options thérapeutiques, à savoir laisser le fragment *in situ* et terminer le traitement par l'obturation des parties accessibles du canal, ou tenter de retirer le fragment de sorte à pouvoir traiter l'intégralité du canal, doit donc être soigneusement évalué au cas par cas.

Deux types d'instruments fracturés doivent être distingués : les instruments d'obturation du type bourre-pâte ou condenseur thermomécanique et les instruments de préparation canalaire.

Les instruments d'obturation canalaire sont, en règle générale, entourés d'un film de ciment de scellement et/ou de gutta et sont donc plus faciles à éliminer une fois libérés du ciment et/ou gutta (1). Les instruments de préparation canalaire quant à eux, sont plus difficiles à éliminer parce qu'ils sont engainés dans le canal (38). Toutefois, en raison de leur profil et de l'anatomie canalaire, ils ne sont jamais liés aux parois canalaires dans les trois dimensions. Le dégagement de la portion engainée et la vibration de l'instrument permettent généralement leur élimination (1).

Les instruments de rotation continue en nickel-titane sont plus difficiles à éliminer que les instruments manuels, car ils sont généralement fracturés sur une petite longueur, plus apicalement, ou dans la courbure de canaux étroits. De plus, en raison de leur mouvement de rotation, ils sont généralement vissés dans la racine et les parois du canal, créant une occlusion totale de la lumière canalaire. Ils ont également tendance à se fracturer sous l'action des vibrations ultrasonores (38). D'où la nécessité, pour tenter de les dégager, de les faire vibrer à faible puissance tout en prenant appui sur la paroi radiculaire (1,38).



*Figure n°28 : (a à c) Elargissement de l'entrée du canal avec un insert diamanté
(d et e) Mobilisation de l'instrument avec un insert long et fin de martèlement.
(le canal mésial désobturé est protégé par un cône de papier pour éviter toute contamination par
l'élimination de l'instrument qui pourrait être soudaine et non contrôlée) (1)*

Pour parvenir à l'éviction de ces instruments fracturés, la longueur et le diamètre de l'insert est d'abord choisi de façon à atteindre et dégager la partie coronaire de l'obstacle. Un insert abrasif (comme les ET20D® (Acteon™) ou Endo 3, 4 et 5 ProUltra® (Dentsply Maillefer™)) est alors utilisé avec une légère pression latérale en appui pariétal pour détourner l'instrument fracturé en s'assurant d'agresser un minimum la structure dentinaire. Ces inserts sont de longueur variable, allant de 17mm pour l'Endo 1 à 24mm pour l'Endo 5. Leur extrémité travaillante est soit diamantée, soit recouverte de nitrure de zirconium. Plus l'insert est long, plus l'extrémité travaillante est fine.

On utilise les inserts courts pour dégager la partie coronaire de l'obstacle située du tiers coronaire jusqu'à la moitié du canal, et les inserts longs pour dégager l'obstacle en partie apicale.

Ensuite, un insert de martèlement de diamètre plus fin et lisse est inséré le long de l'obstacle dans l'espace créé puis on le fait vibrer (39). Celui-ci peut être cylindro-conique ou à parois parallèles et est de longueur variable, allant de 15mm pour l'ET25S à 27mm pour l'Endo 8. Les inserts ET20® (Acteon™) et Endo 6 ProUltra® (Dentsply Maillefer™) sont préconisés pour faire vibrer et éliminer les

fragments d'instruments en partie coronaire après dégagement de ces derniers. Les inserts ET25S® et ET40® (*Acteon™*) et Endo 7 ProUltra® (*Dentsply Maillefer™*), plus fins et plus longs, ont la même indication et sont destinés au tiers médian du canal. L'élimination de l'objet de la partie apicale peut se faire grâce à des inserts en alliage de titane car ils sont très flexibles comme les ET25L® (*Acteon®*) ou Endo 8 ProUltra® (*Dentsply Maillefer™*).

L'application de ces inserts se fait sous aide optique. La puissance doit être faible et l'irrigation doit se faire par intermittence (1,39).

FORME	TYPE D'INSERT	ACTION	TIERS CORONAIRE	TIERS MEDIAN	TIERS APICAL
Cylindro - coniques	Abrasif	Dégagement de l'objet fracturé	ET20D® d'Acteon™ :  Endo 3 ProUltra® de Dentsply Maillefer™ : 		Endo 5 ProUltra® de Dentsply Maillefer™ : 
Cylindro - coniques	Lisse	Dégagement et élimination de l'objet fracturé	ET20® d'Acteon™ : 	ET25S® et ET40® d'Acteon™ :  	ET25® et ET25L® d'Acteon™ :  
A parois parallèles			Endo 6 ProUltra® de Dentsply Maillefer™ : 	Endo 7 ProUltra® de Dentsply Maillefer™ : 	Endo 8 ProUltra® de Dentsply Maillefer™ : 

Tableau n°10 : Récapitulatif des inserts utilisés pour la dépose des instruments fracturés (L.RAPIN)

AVANTAGES	INCONVENIENTS
- Dégagement du champ opératoire et meilleure visibilité - Accès intracanalair facilité grâce aux inserts longs et fins récemment mis au point	- Risque de perforation lié aux tentatives d'élimination en cas de fracture apicale de l'objet - Risque d'échauffement lié à l'intermittence de l'irrigation - Risque de fracture ou d'érosion du matériau à éliminer en cas de contact direct (pour instruments NiTi et cônes d'argent) - Risque de propulsion de l'objet en direction apicale en cas de pressions exagérées sur l'objet - Nécessité d'aide optique

Tableau n°11 : Avantages et inconvénients de l'utilisation des ultrasons pour la gestion d'instruments fracturés (1,9,38)

3.2.2.1.2.1 Cas particulier des cônes d'argent (8,9,40)

La désobturation des cônes d'argent est un acte délicat car il s'agit d'un matériau ductile qui s'oxyde avec le temps et adhère aux parois canalaire. Dans la mesure du possible, il est conseillé de ne pas sectionner l'extrémité des cônes dépassant dans la cavité lors du réaménagement de la voie d'accès.

Il convient de détourner l'extrémité coronaire du cône puis de progresser en direction apicale en restant à son contact. Pour cela, des inserts ultrasonores abrasifs ainsi que du solvant sont utilisés pour permettre la création d'un petit espace entre le cône et la surface dentinaire. Ensuite le cône est mobilisé latéralement en plaçant des inserts ultrasonores lisses dans l'espace créé. L'utilisation des inserts ultrasonores suit la même chronologie que celle de l'éviction d'instruments fracturés (se référer au tableau 2.2.2.1.2). Enfin, on tente de le tracter verticalement à l'aide d'instruments de préhension (pince de Stieglitz, précelles, etc...). Si une résistance est rencontrée lors de la traction, un insert ultrasonore peut être placé sur les mors de la pince près du cône pour aider à le dégager. Le piège est de vouloir les tracter trop tôt et de laisser un fragment apical compliquant la procédure clinique. S'il se fracture à l'intérieur du canal, il faut réaliser un *by-pass* avec une lime K 10/100^{ème} puis 15/100^{ème}, puis, introduire à l'arrêt une lime ultrasonore 15/100^{ème} au-delà de l'extrémité apicale du cône d'argent. Cette dernière est ensuite activée avec une irrigation abondante. La vibration déloge le cône d'argent qui est évacué coronairement par le flux d'irrigant.



Figure n°29 : Retraitement endodontique orthograde de l'incisive latérale maxillaire avec dépose d'un cône d'argent intracanalair (40)

3.2.2.1.3 Activation des solutions d'irrigation

Quels que soient la technique ou les instruments utilisés, l'irrigation joue un rôle primordial en endodontie. Elle est indispensable pour éliminer les débris organiques, les bactéries ainsi que l'enduit pariétal généré par l'action des instruments (1).

Le débridement des zones inaccessibles à l'instrumentation (canaux latéraux, accessoires, zones cryptiques) implique une pénétration des solutions d'irrigation au sein de ces structures pour assurer leur préparation chimique (1).

L'efficacité de l'irrigation est liée à la fois à une action mécanique de lavage et à la capacité des solutions d'irrigation à dissoudre les tissus résiduels. L'action de lavage est prépondérante mais elle reste relativement faible lorsqu'elle est réalisée uniquement à l'aide d'une seringue (8,9). Un nombre croissant de dispositifs et d'équipements réservés à l'activation des solutions a émergé récemment afin de compléter son action et d'optimiser l'efficacité du parage et de la désinfection. L'activation intracanalair e peut être mécanique, sonore, ultrasonore, hydrodynamique ou engendrée par un rayon laser (8,9).

Concernant l'activation des solutions d'irrigation avec un système ultrasonore, la littérature en décrit deux types (8,9,29,41,42):

- L'irrigation ultrasonique (UI: Ultrasonic Irrigation) : combinaison simultanée de l'instrumentation ultrasonore et de l'irrigation,
- L'irrigation ultrasonique passive (PUI : Passive Ultrasonic Irrigation) : vibration d'une lime dans la solution sans instrumentation simultanée.

L'irrigation ultrasonique a été abandonnée pour des raisons cliniques car il était très difficile de contrôler la coupe dentinaire (8). En effet, lorsque l'insert travaillant était activé dans le canal, il était alors très simple de dépasser la partie apicale d'un canal droit ou de créer des perforations, principalement dans les canaux courbes (41).

Dans le système Passive Ultrasonic Irrigation (PUI), la lime introduite dans les canaux ne présente aucune partie travaillante, empêchant ainsi la création d'anatomie canalaire aberrante (41).

3.2.2.1.3.1 Irrigation passive ultrasonique

Le terme d'irrigation passive ultrasonore ne reflète pas exactement le procédé d'irrigation utilisé puisque celui-ci est bel et bien actif. Lorsqu'il est présenté pour la première fois (43), le terme « passif » est employé car l'instrument n'agit pas de façon active sur les parois canalaire s comme l'irrigation ultrasonique (42).

L'irrigation passive ultrasonique se fonde sur la transmission de l'énergie acoustique (ondes ultrasonores) d'une lime en oscillation dans une solution d'irrigation remplissant le canal radiculaire (1,8,42). On peut dénombrer toute une série de nœuds et d'anti-nœuds sur la longueur de la lime ultrasonore avec la présence d'un nœud à l'extrémité (1,8). La lime induit ainsi des micro-courants acoustiques et des cavitations à l'intérieur du canal.

Les micro-courants sont suffisamment puissants pour mettre en suspension les débris ; ils augmentent le contact substrat-solution d'irrigation, ce qui facilite la dissolution de ces débris. L'effet de cavitation est limité à la pointe de l'instrument. Pour que ces phénomènes aient lieu, la lime doit

pouvoir vibrer librement dans l'espace canalaire. Tout impact amorti, voire annulé, l'amplitude oscillatoire et, donc, le rendement énergétique (1,8).

Aussi, l'augmentation de température de la solution d'irrigation entraînée par l'action des ultrasons permet également d'amplifier son pouvoir solvant (1,8,42).

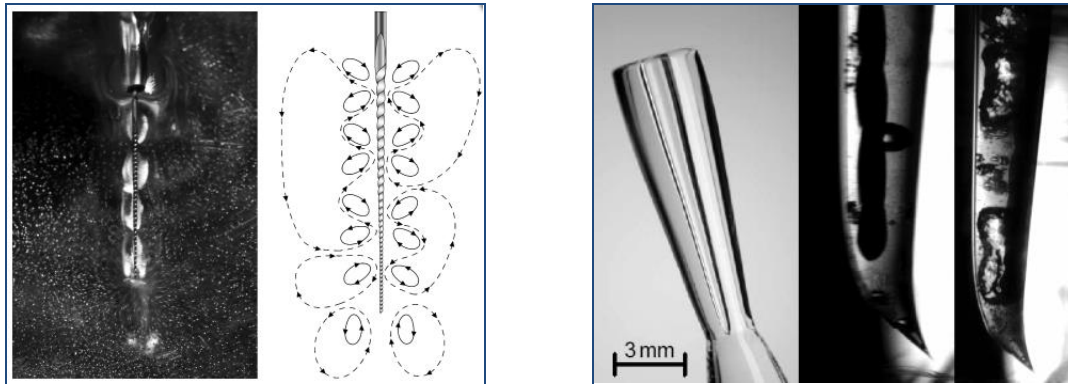


Figure n°30 : Micro-courants acoustiques (à gauche) et cavitation (à droite) induits par les ultrasons autour d'une lime (42)

L'hypochlorite de sodium (NaOCl) est la solution d'irrigation de choix pour l'endodontie. En effet, il possède des actions physique et chimique supérieures à tout autre désinfectant canalaire (44).

Cependant, le chlore, responsable de la capacité de dissolution et de l'effet antibactérien, est instable et se consume rapidement, probablement en 2 minutes (29). Il faut donc respecter quatre principes fondamentaux pour une efficacité optimale de la solution d'irrigation (8):

- Utiliser de grandes quantités de NaOCl afin d'avoir une réserve de chlore actif toujours disponible,
- La solution doit arriver au contact des tissus,
- Activer la solution en l'agitant,
- Renouveler régulièrement la solution.

Deux méthodes d'irrigation sont décrites pour la PUI (29) :

- **Une irrigation continue** : La solution d'irrigation est délivrée directement par la pièce à main ultrasonore. Cette technique permet de délivrer un irrigant directement vers la zone apicale et autorise un renouvellement constant de la solution d'irrigation.
- **Une irrigation intermittente** : L'utilisation d'une seringue d'irrigation est alors indispensable pour injecter l'irrigant. Il est ensuite activé avec l'utilisation d'un instrument ultrasonore. Le canal radiculaire est ensuite irrigué une nouvelle fois pour faire remonter les débris dissous et délogés.

L'irrigation passive ultrasonique effectuée en continu utilise un unit ultrasonore spécifique avec une pièce à main sur laquelle est soudée une aiguille de 25/100^{ème} qui délivre à pleine puissance la solution d'irrigation et la vibration (8,45). Le débit d'irrigant est de 15ml/minute et la solution d'irrigation doit être de l'hypochlorite de sodium concentré à 6% (46). L'aiguille est réglée aux $\frac{3}{4}$ de la longueur de travail avec un stop et des mouvements de va-et-vient sont effectués lors de l'activation (8,46). La société Dentsply™ a commercialisé en 2010 le ProUltra® PiezoFlow™ qui permet d'effectuer cette irrigation continue (8,46). Cette technique permettrait d'avoir une bonne élimination des débris organiques intracanaux mais serait risquée si elle est utilisée à moins de 5mm de l'apex (45). D'autres études cliniques supplémentaires seront nécessaires dans le futur pour valider les promesses initiales de cette technique d'irrigation.

L'irrigation passive ultrasonique intermittente implique d'effectuer plusieurs remplissages avec la solution d'irrigation et de mettre en œuvre plusieurs cycles d'activation avec la lime ultrasonore. Cette procédure s'est montrée plus performante qu'un cycle unique d'activation de la solution (42). Van der Sluis et coll. (42) ont aussi suggéré que l'utilisation d'une lime lisse est aussi efficace et plus sûre qu'une lime K (42). De telles limes non actives sont disponibles chez EMS™ avec l'instrument ESI et chez Acteon™ avec l'Irrisafe®.

Les auteurs admettent par un certain consensus que la PUI à irrigation intermittente se montre plus efficace pour supprimer les résidus pulpaire, les débris dentinaires et la boue dentinaire (smear-layer) qu'avec une simple utilisation d'une seringue d'irrigation conventionnelle ou activation sonique (42,47). En effet, les oscillations de l'instrument font pénétrer l'irrigant dans les zones non accessibles, comme les canaux latéraux, les delta apicaux ou toute autre irrégularité dans les canaux radiculaires (42,48).

De nombreuses investigations ont démontré que l'utilisation de l'irrigation passive ultrasonique après la mise en forme canalaire réduisait significativement le nombre de bactéries et était plus efficace que les techniques d'agitation manuelle (8,47,48). Ces résultats s'expliqueraient par deux principaux facteurs : d'une part, le flux acoustique détruirait les biofilms rendant donc les bactéries plus sensibles aux irrigants, et, d'autre part, les cavitations acoustiques entraîneraient un affaiblissement temporaire des membranes cellulaires, rendant les bactéries plus perméables à l'hypochlorite de sodium (8,29,42).

FORME	POINTE	ACTION	EXEMPLE D'INSERT	CARACTERISTIQUES
Lime lisse	Non active	Activation ultrasonique de la solution d'irrigation	Lime <i>Irrisafe</i>™ 20 d'Acteon™ :  Insert E11 de NSK™ :  Insert ESI (Endo Soft Instrument) d'EMS™ :  Insert E12 de NSK™ : 	- Les limes <i>Irrisafe</i>™ s'adaptent à de nombreuses tailles de canaux : Ø 20 longueur 21 mm et 25 mm Ø 25 longueur 21 mm et 25 mm - Support pour limes en U - Angle 120° - Pour les dents antérieures - Support pour limes en U - Angle 95° - Pour les dents postérieures

Tableau n°12 : Récapitulatif des inserts utilisés pour l'irrigation passive ultrasonique (L.RAPIN)

Les limes ultrasonores utilisées peuvent être lisses ou de profil K. Elles possèdent un diamètre 10 à 30/100^{ème} existant en deux longueurs : 21 et 25mm (1).

Leur utilisation suit une démarche précise (8,49) : le canal est rempli d'irrigant (NaOCl). La lime ultrasonore est insérée jusqu'à la longueur de travail minorée de 1 à 2mm. Elle est ensuite activée à puissance moyenne et est utilisée passivement sans appui pariétal dans un espace canalaire préalablement élargi. Des mouvements de va-et-vient sur 2-3 mm sont continuellement effectués pour faire refluer les débris et la boue dentinaire en coronaire. La lime reste active pendant 1 minute dans le canal et cette procédure doit être renouvelée plusieurs fois par canal.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
- Irrigation de l'ensemble du canal, en particulier la zone apicale - Augmentation de l'effet de lavage - Augmentation du pouvoir de l'irrigant - Meilleur débridement des zones non accessibles à l'instrumentation - Meilleure pénétration du ciment de scellement	- Nécessité d'un espace canalaire suffisamment élargi - Risque de blocage et de fracture dans les courbes en cas de non-respect des règles d'utilisation - Avec l'utilisation de lime K, au contact de la paroi dentinaire, formation d'une couche de smear-layer qu'il faudra ensuite nettoyer

Tableau n°13 : Avantages et inconvénients de l'utilisation de la PUI à irrigation intermittente (1,29,41,42,50)

3.2.2.1.4 Obturation canalaire

L'obturation est l'étape ultime du traitement canalaire. La qualité de la préparation canalaire, de la désinfection canalaire, de la condensation des matériaux d'obturation dans l'intégralité du volume canalaire et de l'étanchéité du matériau de restauration sont le gage de la pérennité du traitement endodontique (8).

3.2.2.1.4.1 Condensation

Différentes techniques d'obturation existent, dans lesquelles la gutta-percha est le matériau le plus utilisé. La technique d'obturation par condensation latérale à froid peut être très efficace si le canal présente une conicité et une forme régulière, ce qui est très rare en réalité. Pour des canaux avec des formes plus complexes, cette technique laissera des zones non ou mal obturées. C'est pourquoi des techniques d'obturation à chaud permettant de ramollir et compacter la gutta-percha et ainsi de combler tous les espaces ont été développées (13). Le compactage ultrasonique de la gutta-percha permet d'homogénéiser l'obturation et de réduire les vides par rapport à une condensation latérale à froid classique (9,51).

Lors de la phase d'obturation, l'insert à ultrasons est mis au contact de la gutta-percha puis activé, produisant ainsi de la chaleur et permettant le ramollissement du matériau d'obturation. D'après l'étude de Bailey et coll. en 2004, cette élévation thermique transmise à la périphérie radiculaire ne dépasserait pas les 10°C, seuil maximal pour le maintien de la santé périradiculaire. Cette augmentation de température serait encore plus faible à l'apex (13).

Les vibrations ultrasoniques favorisent également une meilleure répartition du ciment de scellement sur les parois canalaire et ainsi une meilleure étanchéité (1).

Malheureusement, très peu d'études cliniques existent à ce jour permettant d'avoir de réelles informations sur l'apport des ultrasons durant la phase d'obturation en endodontie.

Les inserts d'obturation canalaire ont une forme de sonde lisse, cylindro-conique, d'une longueur de 40mm en moyenne et de conicité comprise entre 3 et 4% permettant l'obturation de canaux fins. Ils sont fins et souples pour pénétrer dans les canaux étroits et peuvent être précurbés pour mieux s'adapter aux canaux courbes. Ils ont pour actions principales l'échauffement et la vibration.

FORME	TYPE D'INSERT	ACTION	EXEMPLE D'INSERT	CARACTERISTIQUES
Cylindro-conique	Lisse	Condensation latérale	Insert de condensation SO4® d'Acteon™ :	- Condenseur fin - Longueur 40mm - Conicité 4%
				
			Inserts de condensation E5® et E6® de NSK™ :	
				
				

Tableau n°14 : Récapitulatif des inserts utilisés pour la condensation latérale (L.RAPIN)

Le condenseur ultrasonore est utilisé à puissance moyenne sans irrigation. Il est utilisé de la même manière qu'un spreader manuel (9). Il est inséré à la longueur de travail minorée de 1 à 2mm, au contact du maître cône de gutta-percha. Une fois positionné, il est activé pendant environ 10 secondes pour obtenir la thermoplastification de la gutta-percha (9). Au-delà de 10 secondes, des effets néfastes peuvent survenir tels que l'échauffement excessif de la surface radiculaire ou la fracture de l'insert (9). La condensation se fait sous vibrations en poussées légères, en compactant le maître cône latéralement sur la paroi (1,9). L'opération est renouvelée pour sceller les cônes accessoires (1,9).

AVANTAGES	INCONVENIENTS
- Homogénéité de l'obturation - Diminution des vides - Meilleure diffusion du ciment de scellement	- Risque de remonter le maître cône ou les cônes accessoires - Très peu d'études cliniques sur cette technique

Tableau n°15 : Avantages et inconvénient de l'utilisation de condenseurs ultrasonores (1,13,51)

3.2.2.1.4.2 Obturation au ciment au silicate de calcium

Depuis plusieurs années, les ciments à base de silicate de calcium se révèlent très utiles en endodontie. Leur biocompatibilité et leur capacité à régénérer les tissus dentaires sont avérées (8). Le Mineral Trioxyde Aggregate (MTA) et ses dérivés sont les types de ciments au silicate de calcium

les plus utilisés (8). Cependant, ils sont difficiles à manipuler (8,9). Lors de la pose du ciment, des lacunes peuvent persister entre la paroi dentinaire et le matériau, diminuant alors la densité et l'étanchéité de l'obturation (9,52). La technique ultrasonique indirecte de pose du ciment pourrait pallier ce problème (9,52).

Cette technique peut être utilisée pour les traitements endodontiques orthogrades et rétrogrades afin de former un bouchon apical, mais aussi pour les perforations (radiculaires ou du plancher pulpaire)(9).

D'abord, une obturation conventionnelle au ciment silicate de calcium est effectuée (9). Le plugger le plus adapté est sélectionné et le matériau foulé dans la cavité préalablement préparée. A cet instant, le plugger est laissé au contact du ciment. Un insert ultrasonore est appliqué au contact du plugger et activé pendant environ 5 secondes (9). L'énergie vibratoire engendre un mouvement ondulatoire qui permet au ciment de s'adapter aux parois du canal (9). Cette technique indirecte ultrasonore est applicable sur les canaux droits comme les canaux courbes ; il faudra alors choisir un plugger flexible en Ni-Ti (53).

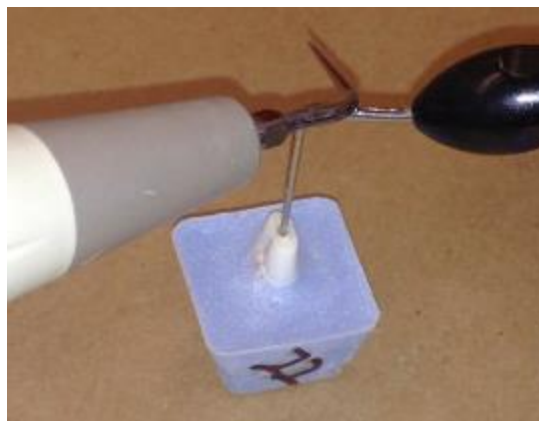


Figure n°31: Activation ultrasonique indirecte appliquée au plugger lors d'une obturation au MTA® (52)

3.2.2.2 L'endodontie chirurgicale

Malgré les connaissances et les moyens actuellement mis à notre disposition pour réaliser les traitements endodontiques dans d'excellentes conditions, des échecs thérapeutiques se produisent parfois. Des études récentes en microbiologie ont montré que la persistance d'une lésion osseuse apicale pouvait être liée à la présence de corps étrangers ou d'une colonisation extra-radiculaire par des micro-organismes bactériens ou non (8).

Dans le cas d'un échec, deux options thérapeutiques existent (8,9) :

- Le retraitement endodontique par voie orthograde
- Le traitement endodontique rétrograde aussi appelé endodontie chirurgicale.

Lorsqu'il est possible, le retraitement endodontique par voie orthograde devrait toujours être tenté en première intention (54). Ce n'est qu'en cas d'échec de celui-ci que la chirurgie endodontique sera envisagée, en complément du geste orthograde (1,8,9).

Il arrive qu'un retraitement par voie orthograde ne soit pas réalisable ; dans ce cas, l'endodontie chirurgicale est à envisager d'emblée (54).

Le but de la chirurgie endodontique consiste à accéder à la zone apicale, préparer une cavité dans cette zone et à l'obturer afin de garantir le scellement du système canalaire (8).

Le succès du traitement endodontique rétrograde est lié à la qualité de l'obturation *a retro* qui empêche la percolation des bactéries du réseau canalaire vers les tissus apicaux (55). La valeur de l'obturation dépend de la qualité de la cavité (55).

Le système ultrasonore est très utile pour deux étapes de l'endodontie chirurgicale :

- L'accès à la zone apicale
- Et la mise en forme canalaire apicale.

3.2.2.2.1 L'accès à la zone apicale

L'objectif de cette étape est d'atteindre la ou les racines concernées et de faciliter l'accès aux instruments nécessaires au curetage de la lésion, à la résection de la racine, à sa préparation et à son obturation (8). Ce sont ces impératifs qui guident la taille minimale de la crypte osseuse à adopter (56). Plus cette cavité est petite et meilleures sont la régénération et les suites post-opératoires (8). L'évolution de l'instrumentation et, notamment, l'apparition de micro-instruments ont permis de réduire la taille de la cavité et, donc, de limiter considérablement le délabrement osseux (9).

La trépanation peut se faire (8):

- à l'aide d'une fraise boule chirurgicale en tungstène, montée sur pièce à main, dont la taille est fonction de l'importance de la lésion, sous irrigation de sérum physiologique et aspiration chirurgicale simultanée
- à l'aide d'une fraise Zekria chirurgicale, à l'extrémité active, montée sur turbine
- à l'aide d'ostéotomes et inserts ultrasonores.

L'intérêt des inserts montés sur un générateur ultrasonore piézoélectrique pour procéder à la résection osseuse est indéniable (57).

L'effet piézoélectrique engendre des vibrations qui déplacent l'insert longitudinalement (1). Ces inserts ultrasonores permettent une coupe sous irrigation plus fine que celle obtenue avec une fraise, alors traumatique, et quasiment sans élévation de la température (8). L'irrigation activée par l'effet de cavitation facilite l'hémostase et le nettoyage du site chirurgical (8).

L'effet piézoélectrique, actif sur les tissus durs, n'a aucun effet sur les tissus mous, ce qui indique son utilisation dans les zones à risque (8).

Le secteur molaire mandibulaire comporte plus de risques que les autres secteurs. L'accès est difficile, les corticales sont épaisses et la position du nerf alvéolaire inférieur complique considérablement l'acte chirurgical. En cas de proximité du nerf alvéolaire inférieur, l'emploi d'un système ultrasonore pour réaliser l'ostéotomie s'avère très utile et rassurant afin d'éviter toute lésion du paquet vasculo-nerveux. En effet, l'effet de coupe sélectif de ces inserts de chirurgie osseuse préserve les tissus mous et prévient tout risque de lésion du nerf alvéolaire inférieur (8).

La possibilité de réaliser un volet osseux pour accéder à la lésion et de repositionner ce volet en fin d'intervention a considérablement modifié la philosophie de la chirurgie endodontique. Cela permet de restituer *in situ* un capital osseux optimisant de manière inégalée la régénération tissulaire (8).



- 1) Dépassement de pâte et suspicion de perforation au niveau de la racine distale. Indication de chirurgie endodontique.



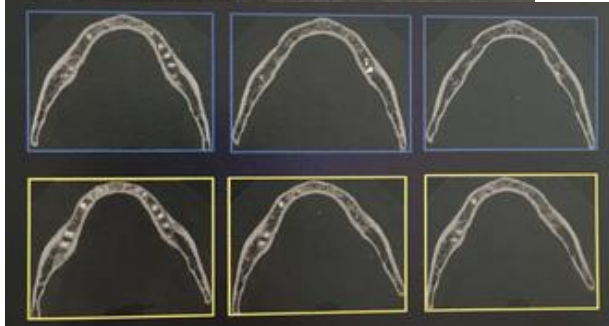
- 2) Les corticales osseuses sont très épaisses : indication d'un volet osseux.



- 3) Repositionnement en fin d'intervention.



- 4) Contrôle radiographique à 6 mois



- 5) Le contrôle scannographique à 6 mois objective une excellente conservation du capital osseux.

Figure n°32 : Découpe et repositionnement d'un volet osseux lors d'une chirurgie endodontique (8)

Le *Piezotome*® d'*Acteon*™ se compose d'un générateur d'ultrasons piézoélectrique, d'un système d'irrigation au sérum physiologique et de deux pièces à main : l'une pour l'usage des inserts de chirurgie et l'autre pour l'utilisation des inserts ultrasonores classiques de chirurgie en endodontie de préparation *a retro*.

La chirurgie piézoélectrique combine ainsi les ultrasons et l'action d'ostéotomes contrôlés électroniquement par les générateurs. Ces ostéotomes ultrasonores offrent de nombreux avantages (8) :

- L'optimisation de la visibilité et l'accès au champ opératoire exsangue et irrigué en nappe permettent une approche claire de la voie d'abord
- L'irrigation constante prévient toute surchauffe des tissus sectionnés
- La section est précise et sûre, tel le stylo guidé par l'index et le majeur dont la maniabilité est totale.

FORME	TYPE D'INSERT	ACTION	EXEMPLE D'INSERT	CARACTERISTIQUES
En « dents de scie »	Lisse	Ostéotomie afin d'accéder à la zone apicale radiculaire	Insert BS1 d'Acteon™ 	- Scie dédiée à la découpe d'os cortical
Rectangulaire			Insert LC1 d'Acteon™ : 	- Périotome destiné à la réalisation de syndesmotomies et d'ostéotomies périradicaux dans la zone antérieure
			Insert LC1-90° d'Acteon™ : 	- Périotome destiné à la réalisation de syndesmotomies et d'ostéotomies périradicaux dans les zones postérieures.

Tableau n°16 : Récapitulatif des inserts utilisés pour l'accès à la zone apicale lors de l'endodontie chirurgicale (L.RAPIN)

3.2.2.2.2 La mise en forme canalaire apicale

La préparation et l'obturation en chirurgie endodontique doivent suivre les mêmes concepts et répondre aux mêmes objectifs qu'en endodontie conventionnelle. La désinfection et le scellement du système canalaire doivent être effectués du mieux possible lors du traitement endodontique chirurgical.

Il est désormais admis que la seule résection apicale n'est pas suffisante pour obtenir une guérison après une chirurgie endodontique (8). Sans préparation canalaire *a retro*, les bactéries présentes dans le système canalaire continuent de libérer leurs toxines vers les tissus péri-apicaux empêchant

tout succès thérapeutique (1,8). Il est donc indispensable de nettoyer puis d'obturer le système canalaire accessible par la voie chirurgicale.

Après avoir récliné le lambeau muco-périosté, réalisé un dégagement osseux péri-radulaire, cureté la lésion apicale, une apicectomie à hauteur de 3 mm est effectuée de façon à supprimer la portion radulaire comportant le plus de variations anatomiques (canaux accessoires, deltas apicaux, bifurcations basses) (1,8). Puis, après avoir obtenu une hémostase, la préparation canalaire *a retro* est réalisée.

Pour cela, les inserts ultrasonores spécifiques à la chirurgie endodontique s'avèrent désormais quasi indispensables (58,59). Leur utilisation en endodontie chirurgicale a montré un avantage significatif par rapport au traitement traditionnel, notamment dans les endroits difficiles d'accès comme les molaires. Ils permettent également une préservation tissulaire (cavités plus petites), une préparation allant plus profondément, et un meilleur traitement des particularités anatomiques comme les isthmes intracanaux et les canaux latéraux (56,58). Aussi, ces micro-inserts permettent de limiter l'apparition de micro-fêlures lors de la préparation canalaire *a retro* (8,56).

L'utilisation d'un insert à pointe non diamantée est préconisée dans un premier temps afin de commencer le plus délicatement possible la préparation canalaire (8). Sa pointe est délicatement posée sur l'entrée canalaire, perpendiculairement au grand axe du canal, puis, est activée. L'insert pénètre alors dans le canal à l'aide d'un mouvement léger sans pression verticale. Il est ensuite désactivé avant sa sortie du canal pour éviter toute lésion de surface du biseau radulaire (1).

Ensuite, un insert à pointe diamantée est utilisé afin de travailler plus efficacement dans le corps du canal. Tous les inserts ultrasonores doivent être utilisés avec une irrigation abondante (8).

Dans les isthmes inter-radulaires et les canaux en C, un insert à pointe non diamantée et peu agressive est généralement utilisé pour ne pas risquer d'endommager les parois radulaires plus fines (8).



Figure n°33 : Réalisation d'une cavité a retro d'une incisive centrale maxillaire droite à l'aide de l'insert SURG 1® de Dentsply Maillefer™ (1)

L'action mécanique des inserts permet de nettoyer le système canalaire et d'éliminer l'ancien matériau d'obturation généralement présent. La préparation canalaire est régulièrement examinée sous microscope opératoire à l'aide d'un micro-miroir pendant la phase d'utilisation des inserts pour s'assurer qu'elle progresse bien dans l'axe du canal (1). Si l'insert rencontre une résistance, il ne doit jamais être forcé (59). Il faut le retirer et contrôler visuellement l'axe de la préparation en cours pour le modifier le cas échéant. Les parois canalaire doivent être le plus propres possible, sans aucun résidu d'obturation (8).

TYPE D'INSERT	ACTION	ORIENTATION		EXEMPLES D'INSERTS	CARACTERISTIQUES
Abrasif	Préparation des dents antérieures	Droit		Insert P14D® d'Acteon™ :  Insert SURG 1 et SURG 2 ProUltra® de Denstply Maillefer™ :  	- Orienté à 90° - Diamanté 30 µm - Longueur 5 mm - Conicité 7% - Orientés à 80° - SURG 1 destiné aux canaux fins des dents antérieures - SURG 2 destiné aux canaux larges des dents antérieures
Lisse	Préparation des dents antérieures	Droit		Insert EN2 de Mectron™ : 	- Insert lisse - Longueur 3mm
Abrasif	Préparation des dents postérieures	Orienté	Vers la droite	Insert SURG 3 et SURG 4 ProUltra® de Denstply Maillefer™ :   Insert P15RD® d'Acteon™ : 	- Double angulation à 75° pour SURG 3 - Double angulation à 110° pour SURG 4 - Diamanté 30 µm - Longueur 5 mm - Conicité 7%

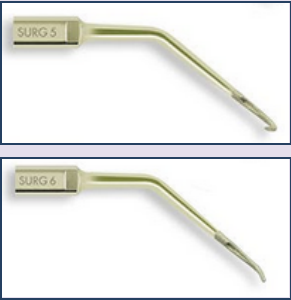
			Vers la gauche	Insert SURG 5 et SURG 6 ProUltra® de Denstply Maillefer™ :  Insert P15LD® d'Acteon™ : 	- Double angulation à 75° pour SURG 5 - Double angulation à 110° pour SURG6 - Diamanté 30 µm - Longueur 5 mm - Conicité 7%
--	--	--	----------------	--	--

Tableau n°17 : Récapitulatif des inserts utilisés pour l'endodontie chirurgicale (L.RAPIN)

Les inserts conçus pour la chirurgie endodontique sont actifs sur leurs derniers millimètres. Leur pointe peut être diamantée, ce qui augmente leur efficacité de coupe (1).
Le diamètre de leur extrémité travaillante varie selon la largeur des canaux à traiter.

Les inserts utilisés dans le secteur antérieur présentent deux courbures dans le même plan de l'espace (exemple : insert P14D d'Acteon™), alors que ceux réservés au secteur postérieur disposent de deux courbures dans deux plans de l'espace (exemple : SURG 3, 4, 5, 6 ProUltra® de Denstply Maillefer™). L'angulation de la partie travaillante abrasive varie de 70 à 90° pour les inserts utilisés en antérieur et de 75 à 110° pour les inserts utilisés en postérieur. Ceux qui possèdent des courbures plus marquées donnent plus de facilité au praticien pour la préparation des racines situées en position linguale ou palatine.

Seul un type d'insert présente trois courbures dans les deux plans : le BK3® de SybronEndo™. Il peut aussi bien être utilisé sur une incisive maxillaire que sur une molaire mandibulaire. Les trois courbures permettent de déporter la pointe de l'insert par rapport à la pièce à main ultrasonore et de garder ainsi un contrôle visuel permanent sur la zone de travail (8).

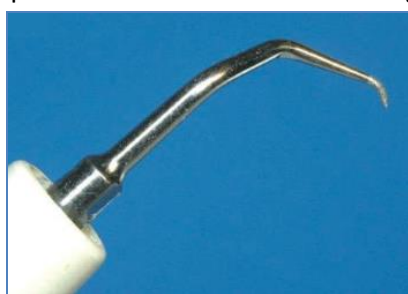
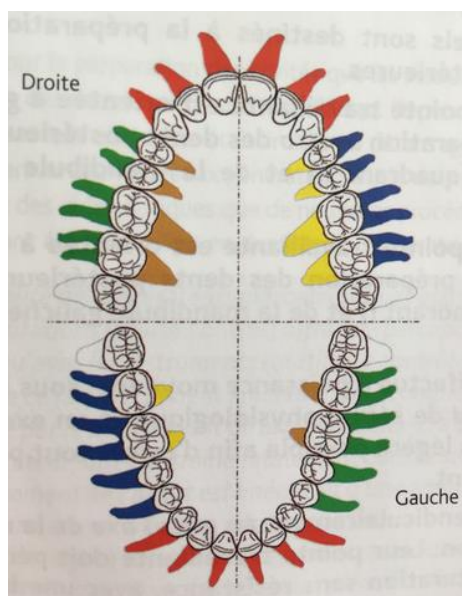


Figure n°34 : Insert ultrasonore BK3® de SybronEndo™ (8)

La grande majorité des inserts ultrasonores disponibles sur le marché disposent d'une partie travaillante de seulement 3mm. Il existe désormais des inserts dont la partie active est allongée et mesure 6 ou 9mm (inserts AS6D et AS9D d'Acteon™) permettant ainsi de nettoyer et de préparer le canal plus profondément. Ils doivent être utilisés de manière séquentielle, du plus court au plus long, chaque insert préparant le passage du suivant afin de rester dans l'axe du canal (8).

Aussi, ces inserts permettent d'être économes en tissu osseux et dentaire lors d'endodontie chirurgicale (8,9).



- Inserts P14D, AS3D, AS6D, AS9D (Acteon®) et inserts SURG 1 et 2 ProUltra® (Dentsply Maillefer™)
- Inserts P15RD, ASRD (Acteon®)
- Inserts SURG 3 et 4 ProUltra® (Dentsply Maillefer™)
- Inserts P15LD, ASLD (Acteon®)
- Inserts SURG 5 et 6 ProUltra® (Dentsply Maillefer™)

Figure n°35 : Schéma résumant les zones d'utilisation des différents inserts endodontiques chirurgicaux (1)

	AVANTAGES DE L'UTILISATION D'UNE INSTRUMENTATION ULTRASONORE	INCONVENIENTS DE L'UTILISATION D'UNE INSTRUMENTATION ULTRASONORE
LORS DE L'ACCES A LA ZONE APICALE	- Meilleur contrôle visuel - Evite toute surchauffe des tissus sectionnés - Economie tissulaire (ostéotomie minimale grâce au profil des inserts de préparation de cavité <i>a retro</i>) - Maniabilité totale → Section précise et sûre - Réduction des vibrations et du bruit → Confort pour le patient	- Coût d'achat du système ultrasonore et des inserts - Augmentation du temps chirurgical
LORS DE LA PREPARATION CANALAIRE A RETRO	- Préservation de la structure radulaire grâce à l'angulation des inserts - Préparation facilitée dans les zones difficiles d'accès - Réduction de la production de boue dentinaire - Respect de l'anatomie canalaire (notamment pour la préparation des isthmes entre deux canaux) - Réduction des vibrations et du bruit → Confort pour le patient	- Nécessité d'aide optique - Les manuels d'instructions de nombreuses unités piézoélectriques déconseillent l'utilisation de ces dispositifs chez les patients présentant des stimulateurs cardiaques

Tableau n°18 : Avantages et inconvénients de l'utilisation d'une instrumentation ultrasonore lors de l'endodontie chirurgicale (1,8,59)

4. Conclusion

Actuellement, la dentisterie tend à être de moins en moins invasive. Les ultrasons semblent être une excellente alternative aux fraises diamantées qui ont un effet de coupe plus difficile à contrôler. Le développement de nombreux inserts spécifiques et complémentaires a permis d'élargir le champ d'applications des ultrasons dans la dentisterie quotidienne. Utilisés avec rigueur afin de ne pas provoquer d'action iatrogène, ils présentent de nombreux avantages : leur facilité d'utilisation, l'augmentation de la visibilité du champ opératoire grâce aux inserts fins, un effet de coupe mieux contrôlé des tissus sains et un accès aux zones difficiles plus aisé.

Lors de la planification endodontique, il est important d'intégrer les ultrasons à notre arsenal thérapeutique. En effet, ils sont utiles à chacune des étapes du traitement endodontique.

Ils permettent d'obtenir un champ de vision constamment dégagé. Ils sont d'une aide précieuse lors du retrait d'instruments fracturés ou d'ancrages corono-radicaux. Ils ont également révolutionné la chirurgie apicale : grâce à leurs inserts angulés, l'accès et la taille des cavités *a retro* sont simplifiées, entraînant un traitement de meilleure qualité.

Nous avons décrit, au cours de ce travail, les indications et la diversité d'applications des ultrasons en endodontie.

Cependant, les ultrasons ne peuvent prétendre remplacer en toutes situations les instruments rotatifs et les fraises. Ils constituent tout de même une aide remarquable élargissant les possibilités thérapeutiques pour les praticiens. Les instruments rotatifs et à ultrasons cohabitent donc dans le plateau technique des praticiens pour offrir la solution la plus adaptée aux différentes éventualités cliniques et augmenter le champ des actes thérapeutiques.

TABLE DES ILLUSTRATIONS :

Figure n°1 : Ondes élastiques longitudinales en propagation dans un ressort (a) et un tuyau acoustique (b) (4)	13
Figure n°2 : Qualification des sons en fonction des fréquences (1)	14
Figure n°3 : Domaine ultrasonore et ses applications (L.RAPIN)	15
Figure n°4 : Section sagittale schématisée d'une pièce à main sonore a : tubulure, b : trous angulés du tube, c : tube interne (6)	15
Figure n°5 : Mouvement circulaire décrit par un insert de pièce à main sonore (8)	16
Figure n°6 : Section sagittale d'une pièce à main magnétostrictive (7)	17
Figure n°7 : Mouvement elliptique décrit par un insert de pièce à main magnétostrictive (8)	17
Figure n°8 : Section sagittale d'une pièce à main piézoélectrique (1)	18
Figure n°9 : Mouvement linéaire décrit par un insert de pièce à main piézoélectrique (8)	19
Figure n°10 : Formation du brouillard de cavitation lorsqu'un insert est immergé dans un liquide (6)	21
Figure n°11 : De la création d'une bulle à son implosion (16)	21
Figure n°12 : Microcourants autour d'une lime ultrasonore (6)	22
Figure n°13 : Bactéries sectionnées par l'action des microcourants (17)	22
Figure n°14 : Nébulisation du liquide d'irrigation (1)	23
Figure n°15 : Réglage débit/puissance pour une bonne irrigation goutte à goutte (1)	23
Figure n°16 : Action du martèlement (1)	24
Figure n°17 : Action du balayage (1)	25
Figure n°18 : Caractéristiques des inserts ultrasonores (29)	28
Figure n°19 : Exemples d'inserts ultrasonores à pointe active [à gauche] et non-active [à droite] (30)	28
Figure n°20 : Exemples d'inserts ultrasoniques revêtus de diamant [à gauche] et lisses [à droite] (30)	29
Figure n°21 : Exemples d'inserts ultrasoniques lisses [à gauche] ou striés [à droite] (30)	29
Figure n°22 : Exemples d'inserts en acier inoxydable [à gauche] ou en alliage de titane [à droite] (30)	29
Figure n°23 : Exemples de limes ultrasonores (30)	30
Figure n°24 : Classification clinique en fonction des zones à traiter (30)	30
Figure n°25 : Aménagement d'une cavité d'accès sous microscope, à l'aide d'une turbine [à gauche] et à l'aide d'un insert ultrasonore [à droite] (1)	31
Figure n°26 : Chronologie de l'éviction d'un pulpolithe (33)	33
Figure n°27 : Chronologie de la création d'un accès sur un canal calcifié (31)	35
Figure n°28 : (a à c) Elargissement de l'entrée du canal avec un insert diamanté	39
(d et e) Mobilisation de l'instrument avec un insert long et fin de martèlement. (le canal mésial désobturé est protégé par un cône de papier pour éviter toute contamination par l'élimination de l'instrument qui pourrait être soudaine et non contrôlée) (1)	39
Figure n°29 : Retraitement endodontique orthograde de l'incisive latérale maxillaire avec dépose d'un cône d'argent intracanal (42)	41
Figure n°30 : Micro-courants acoustiques (à gauche) et cavitation (à droite) induits par les ultrasons autour d'une lime (44)	43
Figure n°31 : Activation ultrasonique indirecte appliquée au plugger lors d'une obturation au MTA® (54)	47
Figure n°32 : Découpe et repositionnement d'un volet osseux lors d'une chirurgie endodontique (9)	49
Figure n°33 : Réalisation d'une cavité a retro d'une incisive centrale maxillaire droite à l'aide de l'insert SURG 1® de Dentsply Maillefer™	51
Figure n°34 : Insert ultrasonore BK3® de SybronEndo™ (9)	53
Figure n°35 : Schéma résumant les zones d'utilisation des différents inserts endodontiques chirurgicaux (1)	54

TABLE DES TABLEAUX :

Tableau n°1 : Récapitulatif des caractéristiques des différentes pièces à main ultrasonores (1)	19
Tableau n°2 : Récapitulatif des inserts utilisés pour la réalisation de la cavité d'accès (L.RAPIN)	32
Tableau n°3 : Avantages et inconvénients des inserts ultrasonores lors de l'aménagement d'une cavité d'accès (1,9,10,31)	32
Tableau n°4 : Récapitulatif des inserts utilisés pour l'élimination des pulpolithes (L.RAPIN)	33
Tableau n°5 : Récapitulatif des inserts utilisés pour la recherche et l'accès canalaire (L.RAPIN)	34
Tableau n°6 : Avantages et inconvénient de l'utilisation des inserts ultrasonores lors de la localisation des entrées canalaires (1,9,10)	35
Tableau n°7 : Recommandations pour la dépose des ancrages corono-radiculaires (1).....	36
Tableau n°8 : Récapitulatif des inserts utilisés pour la dépose des tenons vissés/scellés (L.RAPIN)	37
Tableau n°9 : Récapitulatif des inserts utilisés pour la dépose des tenons fibrés collés (L.RAPIN)	38
Tableau n°10 : Récapitulatif des inserts utilisés pour la dépose des instruments fracturés (L.RAPIN)	40
Tableau n°11 : Avantages et inconvénients de l'utilisation des ultrasons pour la gestion d'instruments fracturés (1,10,40).....	41
Tableau n°12 : Récapitulatif des inserts utilisés pour l'irrigation passive ultrasonique (L.RAPIN)	44
Tableau n°13 : Avantages et inconvénients de l'utilisation de la PUI à irrigation intermittente (1,32,43,44,52)..	45
Tableau n°14 : Récapitulatif des inserts utilisés pour la condensation latérale (L.RAPIN)	46
Tableau n°15 : Avantages et inconvénient de l'utilisation de condenseurs ultrasonores (1,14,53)	46
Tableau n°16 : Récapitulatif des inserts utilisés pour l'accès à la zone apicale lors de l'endodontie chirurgicale (L.RAPIN)	50
Tableau n°17 : Récapitulatif des inserts utilisés pour l'endodontie chirurgicale (L.RAPIN)	53
Tableau n°18 : Avantages et inconvénients de l'utilisation d'une instrumentation ultrasonore lors de l'endodontie chirurgicale (1,9,61)	54

BIBLIOGRAPHIE :

1. Gagnot G. Les ultrasons en odontologie - Applications thérapeutiques. Collection Memento. Rueil-Malmaison : CdP, 2008.
2. Chion M. Le son : traité d'acoustologie. 2ème éd. Paris : Armand Colin, 2010.
3. Castellengo M, Mercier D. Le livre des techniques du son, Tome 1 - Notions fondamentales. 5ème éd. Paris : Dunod, 2015.
4. Ondes acoustiques, caractéristiques, unités de mesure, applications. [Internet]. Available from: <http://www.ecole-art-aix.fr/Ondes-acoustiques-caracteristiques>
5. Van Der Weijden F. Le monde fascinant des ultrasons. Paris : Quintessence International, 2007.
6. Blanc G. Les appareils à ultrasons et les soins dentaires. Le fil dentaire. 2008 Mar;(31):42–4.
7. Petersilka G, Flemming T. Periodontal debridement with sonic and ultrasonic scalers. Periodontol Pract Today. 2004;1(4):353–62.
8. Simon S, Machtou P, Pertot W. Endodontie. Collection JPIO. Rueil-Malmaison : CdP, 2012.
9. Plotino G, Pameijer CH, Grande NM, Somma F. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. J Endod. 2007 Feb;33(2):81–95.
10. Gagnot G, Poblete M. The proper use of ultrasonic devices : control of vibrations. Rev OdontoStomatol. 2004 May;(33):85–95.
11. Davis S, Gluskin AH, Livingood PM, Chambers DW. Analysis of temperature rise and the use of coolants in the dissipation of ultrasonic heat buildup during post removal. J Endod. 2010 Nov;36(11):1892–6.
12. Madarati AA, Qualtrough AJE, Watts DC. Efficiency of a newly designed ultrasonic unit and tips in reducing temperature rise on root surface during the removal of fractured files. J Endod. 2009 Jun;35(6):896–9.
13. Bailey GC, Cunningham SA, Ng Y-L, Gulabivala K, Setchell DJ. Ultrasonic condensation of gutta-percha: the effect of power setting and activation time on temperature rise at the root surface - an in vitro study. Int Endod J. 2004 Jul;37(7):447–54.
14. Cavitation. In: Wikipédia [Internet]. Available from: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Cavitation&oldid=124434489>
15. Leclair M. Method and apparatus for the controlled formation of cavitation bubbles using target bubbles. US7297288 B1, 2007.
16. Bentley CD, Burkhart NW, Crawford JJ. Evaluating spatter and aerosol contamination during dental procedures. J Am Dent Assoc. 1994 May;125(5):579–84.
17. Timmerman MF, Menso L, Steinfors J, van Winkelhoff AJ, van der Weijden GA. Atmospheric contamination during ultrasonic scaling. J Clin Periodontol. 2004 Jun;31(6):458–62.

18. Miller RL, Micik RE. Air pollution and its control in the dental office. *Dent Clin North Am*. 1978 Jul;22(3):453–76.
19. Setcos JC, Mahyuddin A. Noise levels encountered in dental clinical and laboratory practice. *Int J Prosthodont*. 1998 Apr;11(2):150–7.
20. Morărașu C, Burlui V, Bortă C, Ignat L, Bortă B, Morărașu G. [The evaluation of sound level in dental practice]. *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi*. 2001 Dec;105(4):785–9.
21. Coles RR, Hoare NW. Noise-induced hearing loss and the dentist. *Br Dent J*. 1985 Oct 5;159(7):209–18.
22. Trenter SC, Walmsley AD. Ultrasonic dental scaler: associated hazards. *J Clin Periodontol*. 2003 Feb;30(2):95–101.
23. 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 Jan;85(1):33–6.
24. Wilson BL, Broberg C, Baumgartner JC, Harris C, Kron J. Safety of electronic apex locators and pulp testers in patients with implanted cardiac pace makers or cardioverter/defibrillators. *J Endod*. 2006 Sep;32(9):847–52.
25. Roedig JJ, Shah J, Elayi CS, Miller CS. Interference of cardiac pacemaker and implantable cardioverter-defibrillator activity during electronic dental device use. *J Am Dent Assoc*. 2010 May;141(5):521–6.
26. Brand HS, Entjes ML, Nieuw Amerongen AV, van der Hoeft EV, Schrama T a. M. Interference of electrical dental equipment with implantable cardioverter-defibrillators. *Br Dent J*. 2007 Nov 24;203(10):577–9.
27. Cassai E. Ultrasonics in endodontics : part 1 [Internet]. Stylitaliano. 2016. Available from: <http://www.styleitaliano.org/ultrasonics-in-endodontics-part-1>
28. Khayat B, Michonneau J. Inserts à ultrasons en endodontie conventionnelle. *Inf Dent*. 2007 Mar;89(10):461–6.
29. Gu L, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod*. 2009 Jun;35(6):791–804.
30. Cassai E. Ultrasonics in endodontics : part 2 [Internet]. Stylitaliano. 2016. Available from: <http://www.styleitaliano.org/ultrasonics-in-endodontics-part-2>
31. Caron G, Martin D. Oblitérations canalaires : les pulpolithes. *Inf Dent*. 2010 Jan;92(1):1–5.
32. Verma KG, Juneja S, Randhawa S, Dhebar TM, Raheja A. Retrieval of iatrogenically pushed pulp stone from middle third of root canal in permanent maxillary central incisor: A case report. *J Clin Diagn Res*. 2015 Jun;9(6):ZD06-07.
33. Jain P, Patni P, Hiremath H, Jain N. Successful removal of a 16 mm long pulp stone using ultrasonic tips from maxillary left first molar and its endodontic management. *J Conserv Dent*. 2014 Jan;17(1):92–5.

34. Gomes AP, Kubo CH, Santos RA, Santos DR, Padilha RQ. The influence of ultrasound on the retention of cast posts cemented with different agents. *Int Endod J*. 2001 Mar;34(2):93–9.
35. Garrido ADB, Fonseca TS, Alfredo E, Silva-Sousa YTC, Sousa-Neto MD. Influence of ultrasound, with and without water spray cooling, on removal of posts cemented with resin or zinc phosphate cements. *J Endod*. 2004 Mar;30(3):173–6.
36. Gluskin AH, Ruddle CJ, Zinman EJ. Thermal injury through intraradicular heat transfer using ultrasonic devices: precautions and practical preventive strategies. *J Am Dent Assoc*. 2005 Sep;136(9):1286–93.
37. Adarsha MS, Lata DA. Influence of ultrasound, with and without water spray cooling, on removal of posts cemented with resin or glass ionomer cements: An in-vitro study. *J Conserv Dent*. 2010 Jul;13(3):119–23.
38. Martin D, Machtou P. Retrait d'un instrument fracturé : nouvelle approche. *Dent Trib Study Club*. 2015 Jun;2(2):26–33.
39. Bal S, Bourbon Kerisit S, Boussetta F. Stratégie d'éviction des instruments brisés. *Clinic (Paris)*. 2006 Fev;27(1):81–8.
40. Glikpo M, Bukiet F. Eliminer les matériels et matériaux, renégocier. *Réal Clin*. 2016;27(4): 255–62.
41. Mozo S, Llena C, Forner L. Review of ultrasonic irrigation in endodontics: increasing action of irrigating solutions. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2012 May;17(3):e512–516.
42. Van der Sluis LWM, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J*. 2007 Jun;40(6):415–26.
43. Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod*. 1980 Sep;6(9):740–3.
44. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod*. 2006 May;32(5):389–98.
45. Malentacca A, Uccioli U, Zangari D, Lajolo C, Fabiani C. Efficacy and Safety of Various Active Irrigation devices when used with either positive or negative pressure: An in vitro study. *J Endod*. 2012 Dec;38(12):1622–6.
46. Dentsply TDS. Technique card : ProUltra PiezoFlow Ultrasonic irrigation needle [Internet]. Available from: https://www.dentsply.com/content/dam/dentsply/pim/manufacture/Endodontics/Irrigation_Activation/Ultrasonics/ProUltra_PiezoFlow_Ultrasonic_Irrigation_Needle/ProUltra-PiezoFlow-Ultrasonic-Irrigation-Needle-70ebtmh-en-1402
47. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Aprecio RM, Handysides R, Jaramillo DE. Biofilm removal by 6% sodium hypochlorite activated by different irrigation techniques. *Int Endod J*. 2014 Jul;47(7):659–66.
48. Spoorthy E, Velmurugan N, Ballal S, Nandini S. Comparison of irrigant penetration up to working length and into simulated lateral canals using various irrigating techniques. *Int Endod J*. 2013 Sep;46(9):815–22.
49. Simon S. L'irrigation en endodontie : l'essentiel à connaître à tout prix. *Clinic*. 2011 fev;31(2):1–7.

50. Al-Jadaa A, Paqué F, Attin T, Zehnder M. Necrotic pulp tissue dissolution by passive ultrasonic irrigation in simulated accessory canals: impact of canal location and angulation. *Int Endod J*. 2009 Jan;42(1):59–65.
51. Bailey GC, Ng Y-L, Cunningham SA, Barber P, Gulabivala K, Setchell DJ. Root canal obturation by ultrasonic condensation of gutta-percha. Part II: an in vitro investigation of the quality of obturation. *Int Endod J*. 2004 Oct;37(10):694–8.
52. Friedl CC, Williamson AE, Dawson DV, Gomez MR, Liu W. Comparison of mechanical and indirect ultrasonic placement technique on mineral trioxide aggregate retrofill density in simulated root-end surgery. *J Endod*. 2016 Apr;42(4):650–3.
53. Yeung P, Liewehr FR, Moon PC. A quantitative comparison of the fill density of MTA produced by two placement techniques. *J Endod*. 2006 May;32(5):456–9.
54. European Society of Endodontology. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J*. 2006 Dec;39(12):921–30.
55. Kim S, Kratchman S. Modern endodontic surgery concepts and practice: a review. *J Endod*. 2006 Jul;32(7):601–23.
56. Khayat B, Michonneau J. Economie tissulaire en micro-chirurgie endodontique. *Rev Odontostomatol (Paris)*. 2008;37(4):275–86.
57. Poblete-Michel M, Michel J. Les applications chirurgicales des ultrasons. Volume 1. Paris : Quintessence International, 2008.
58. de Lange J, Putters T, Baas EM, van Ingen JM. Ultrasonic root-end preparation in apical surgery: a prospective randomized study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2007 Dec;104(6):841–5.
59. Abella F, de Ribot J, Doria G, Duran-Sindreu F, Roig M. Applications of piezoelectric surgery in endodontic surgery: a literature review. *J Endod*. 2014 Mar;40(3):325–32.

UNIVERSITÉ DE NANTES
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Vu le Président du Jury,


Pr PEREZ.F

Vu et permis d'imprimer

Vu le Doyen,


Pr Bernard GIUMELLI

RAPIN (Lucile). – Utilisation des ultrasons en endodontie.

35f. ; ill. ; 18tabl. ; 59ref. ; 30cm (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2017)

RESUME :

Lors de leur introduction dans le domaine dentaire, les vibrations ultrasonores sont utilisées exclusivement en parodontologie afin d'éliminer les dépôts exogènes adhérents aux surfaces dentaires. Peu à peu, le champ d'application des ultrasons s'élargit. Il faut attendre quelques décennies et l'arrivée des aides optiques pour voir apparaître des instruments ultrasonores spécifiques à l'endodontie. Ils améliorent considérablement la qualité des traitements canalaires et facilitent les situations endodontiques complexes. Ces inserts sont aujourd'hui des outils indispensables pour effectuer chacune des étapes du traitement endodontique dans les meilleures conditions. Après avoir rappelé les principes physiques des ultrasons ainsi que leur mode de production, ce travail présente l'ensemble des inserts ultrasonores utilisés en endodontie chirurgicale et non chirurgicale, en précisant leurs caractéristiques, indications, avantages et inconvénients.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Odontologie - Endodontie

MOTS CLES MESH :

Ondes ultrasonores – Ultrasonic waves

Endodontie – Endodontics

Technologie dentaire – Dental technology

JURY :

Président : Professeur PEREZ F.

Directeur : Docteur ARMENGOL V.

Assesseur : Docteur AMADOR DEL VALLE G.

Assesseur : Docteur GOEMAERE GALIERE H.

ADRESSE DE L'AUTEUR :

20 rue Henri Delahaye

44120 – VERTOU

lucile.rapin@hotmail.fr