

UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2022

N°:

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

Présentée et soutenue publiquement le 21 juin 2022

Par Victor COLUSSI CORTE

Né le 23 AVRIL 1995 à SURESNES-France

Le laser en endodontie

JURY

Président : Monsieur le Professeur Thomas COLARD
Assesseurs : Monsieur le Docteur Marc LINEZ
Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT
Monsieur le Docteur Henri Persoon
Membre invité : Monsieur le Docteur Alexandre GRENET

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directrice Générale des Services de l'Université	:	M-D. SAVINA
Doyen UFR3S	:	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S	:	G. PIERSON
Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S	:	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services	:	M. DROPSIT
Responsable de la Scolarité	:	G. DUPONT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE	Responsable du Département d'Odontologie Pédiatrique Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S
E. DEVEAUX	Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

K. AGOSSA	Parodontologie
T. BECAVIN	Dentisterie Restauratrice Endodontie
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
P. BOITELLE	Prothèses
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
E. BOCQUET	Responsable du Département d' Orthopédie Dento-Faciale
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUTEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
P. HILDELBERT	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie
C. LEFEVRE	Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
W. PACQUET	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Responsable du Département de Prothèses

Règlementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de L'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant le jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

Remerciements

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

*Section Réhabilitation Orale
Département Sciences Anatomiques*

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur au Muséum National d'Histoire Naturelle en Anthropologie Biologique
Assesseur à la Recherche

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter de présider cette thèse et je vous en remercie. J'espère que ce travail sera à la hauteur de l'intérêt que vous lui avez porté. C'est avec plaisir que j'ai suivi vos enseignements pendant mes études et je tiens à vous remercier pour la pédagogie dont vous avez fait preuve. Veuillez trouver ici le témoignage de mon profond respect.

Monsieur le Docteur Marc LINEZ

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

*Section Réhabilitation Orale
Département Dentisterie Restauratrice Endodontie*

Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme d'Etudes Approfondies Sciences de la Vie et de la Santé
Maîtrise de Sciences de la Vie et de la Santé

Responsable de l'Unité Fonctionnelle de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Vous m'avez fait le plaisir d'accepter de faire partie de mon jury. Merci pour votre pédagogie au cours de mes années en clinique. Vous m'avez accordé votre confiance, votre temps et j'espère que le résultat de ce travail sera à la hauteur de vos attentes. Vous trouverez avec mes remerciements, l'expression de ma profonde reconnaissance.

Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

*Section Réhabilitation Orale
Département Dentisterie Restauratrice Endodontie*

Docteur en Chirurgie Dentaire
Assesseur Développement Durable

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter de prendre place au sein du jury de cette thèse. Je vous remercie sincèrement pour vos enseignements mais aussi pour votre bienveillance avec laquelle vous nous avez supervisé en clinique. Veuillez trouver ici l'expression de ma gratitude et mon profond respect.

Monsieur le Docteur Henri PERSOON

Assistant Hospitalo-Universitaire des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Certificat d'Etudes Supérieures d'Odontologie Chirurgicale mention Odontologie

Chirurgicale – Université de Lille

Je te remercie d'avoir accepté d'être le directeur de ma thèse ainsi que pour ta gentillesse et ta compréhension. Nous avons commencé la faculté ensemble et nous finissons ensemble avec cette thèse. Tu trouveras avec mes remerciements, l'expression de ma profonde gratitude.

Monsieur le Docteur Alexandre Grenet

Ancien assistant Hospitalo-Universitaire des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Certificat d'Etudes Supérieures d'Odontologie conservatrice et endodontie de l'Université de Paris

Attestation d'étude universitaire de microchirurgie endodontique de l'université de Toulouse

Je te remercie infiniment de m'avoir épaulé et guidé dans la rédaction de cette thèse et d'être présent aujourd'hui en tant que membre du jury. Tes précieux conseils m'ont permis d'avancer sereinement et j'espère que cette thèse sera à la hauteur de tes attentes. Je t'adresse encore un grand remerciement.

Table des matières

Table des matières	11
1. Introduction.....	12
2. Le laser endodontique.....	13
2.1 Rappels fondamentaux	13
2.1.1 Histoire du laser	13
2.1.2 Les paramètres du LASER	14
2.2 Fonctionnement.....	16
2.2.1 Les effets du LASER.....	18
2.3 Les différents types de laser en dentisterie	22
2.3.1 Diagnodent	23
2.3.2 Laser argon.....	24
2.3.3 Laser Nd/YAG	25
2.3.4 Laser KTP	26
2.3.5 Laser diode	27
2.3.6 Laser CO2	29
2.3.7 Laser erbium.....	30
2.4 Le laser en endodontie.....	32
2.4.1 Les différents types de laser utiles en endodontie	32
2.4.2 Effet du laser sur les liquides d'irrigation	34
3. Cas cliniques.....	38
3.1 Protocole du laser en endodontie	38
3.2 Cas clinique d'un traitement endodontique après un traumatisme	39
3.3 Cas clinique d'un retraitement endodontique.....	42
3.4 Cas clinique d'un traitement endodontique combiné avec la thérapie photo-dynamique	44
4. Introduction au gentlewave.....	47
4.1 Le gentlewave	47
4.1.1 Présentation du gentlewave.....	47
4.1.2 Mécanisme d'action	48
4.2 Les Intérêts cliniques du Gentlewave.....	50
4.2.1 Cas de traitement endodontique.....	50
4.2.2 Cas de retraitement endodontique	51
4.2.3 Cas de fracture d'un instrument dans un canal	53
5. Conclusion	54
Références bibliographiques	55
Table des illustrations.....	60
Table des tableaux.....	61

1. Introduction

L'endodontie permet de soigner les pathologies à l'intérieur de la dent. Le traitement endodontique désinfecte le système canalaire et traite les potentielles pathologies de la mâchoire.

L'objectif principal d'un traitement endodontique est le nettoyage efficace des canaux. La décontamination complète du système endodontique passe par une désinfection chimio-mécanique, d'une part avec des instruments mécanisés, d'autre part par des irrigants chimiques. Ces irrigants peuvent être activés de différentes manières afin de potentialiser leur efficacité. De nombreuses variations anatomiques, dont les dimensions et la morphologie peuvent varier, se ramifient à partir des canaux principaux. La complexité pour le Chirurgien-Dentiste est sa capacité à pouvoir désinfecter les canaux principaux mais aussi les canaux latéraux et autres ramifications afin d'avoir la plus grande chance de succès dans son traitement endodontique.

Pour cela les Chirurghiens-Dentistes possèdent plusieurs outils. Les systèmes d'irrigation comme l'hypochlorite de sodium, l'EDTA 17% ainsi que les instruments mécanisés offrent une décontamination optimale du système canalaire. Depuis la fin des années 80, le laser a fait son apparition dans la dentisterie. Que ce soit pour la cicatrisation, l'activation des systèmes d'irrigation, le laser joue un grand rôle dans la dentisterie d'aujourd'hui.

Dans la première partie, nous allons rappeler les principes fondamentaux du laser endodontique, ses indications et avantages. Par la suite, nous décrivons le protocole clinique du laser endodontique et enfin, nous aborderons le thème du Gentlewave qui peut révolutionner le monde de l'endodontie.

2. Le laser endodontique

2.1 Rappels fondamentaux

2.1.1 Histoire du laser

Le LASER est un acronyme anglo-saxon qui signifie « Light Amplification by Stimulated Emission of Radiations » qui se traduit en français par « Amplification de la Lumière par Emission Stimulée de Radiations ».

Pour mieux comprendre le fonctionnement du laser, il faut remonter en 1900 avec Max Planck qui établit la notion de quantification de l'énergie. Il émet comme hypothèse que l'échange entre la matière et les ondes est un échange d'énergie discontinue. Cet échange d'énergie s'effectue par des "quanta" qui seront renommés dans le futur des "photons".

Dans les années 1910, Albert Einstein continue de travailler sur les avancées de Max Planck. Il découvre alors l'émission spontanée et met en lumière l'absorption du rayonnement. Il prouve que la lumière est absorbée par les milieux qui eux même peuvent amplifier celle-ci. Il découvre alors une nouvelle émission, l'émission stimulée. Ce n'est qu'en 1950 grâce à Alfred Kastler, que la théorie des milieux qui peuvent amplifier la lumière sera prouvée à l'aide du pompage optique.

Le système de pompage optique permet de maintenir les particules de ce milieu dans un état excité qui crée une inversion de population nécessaire à l'émission de la lumière du LASER [13].

Les recherches permettent la création du premier laser qui fait son apparition en 1960 grâce au Docteur Maiman. Les premiers essais en Odontologie se feront 5 ans plus tard en 1965. Dans les années 80, le laser CO2 se développe et est utilisé pour le curetage carieux, le coiffage pulpaire ainsi que la stérilisation dentinaire. Ce n'est qu'à la fin des années 80, début des années 90, que le laser Nd/YAG, le laser Er/YAG ainsi que le laser diode font leurs apparitions et sont mis en application en dentisterie.

2.1.2 Les paramètres du LASER

Le Laser prend une place de plus en plus importante en dentisterie de nos jours. Afin d'utiliser au mieux le Laser, il faut maîtriser ses caractéristiques. Différents paramètres sont à prendre en compte.

Le premier paramètre à prendre en compte est la lumière. Par définition, la lumière possède une propriété corpusculaire et une propriété ondulatoire. La lumière est une onde électromagnétique qui se caractérise par sa célérité, sa longueur d'onde ainsi que sa fréquence. Contrairement aux ondes acoustiques et mécaniques, la lumière ne déplace pas de matière et se propage à une vitesse constante dans le vide et dans un milieu homogène. Les ondes électromagnétiques sont alors classées selon la longueur d'onde [38].

La lumière se divise en plusieurs parties. Il y a la lumière visible pour l'œil humain qui s'étend en longueur d'onde entre 380 nanomètres et 780 nanomètres, ce qui correspond à des couleurs allant du violet au rouge [9].

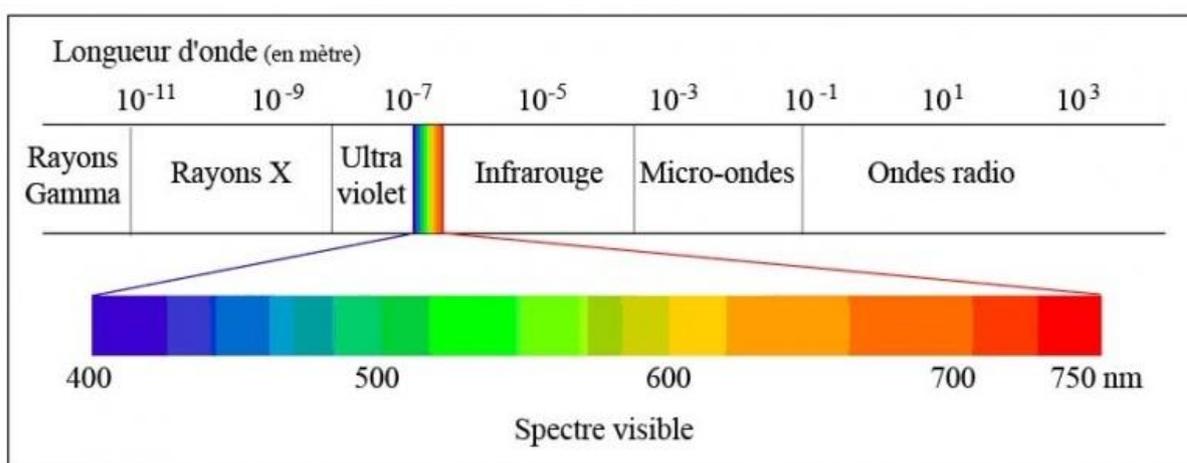


Figure 1 : Spectre électromagnétique [65]

Les ondes lumineuses classiques sont donc composées de toutes les couleurs de l'arc en ciel et elles se déplacent dans toutes les directions de l'espace et sont complètement indépendantes entre elles. Ce qui les différencie de la lumière laser. La lumière laser est pour la plupart du temps monochromatique ce qui permet en outre de cibler spécifiquement certains tissus. La lumière laser émet un faisceau étroit qui

est dirigé dans une seule direction. La lumière laser est complètement artificielle dans la majorité des cas. Toutes ces propriétés de la lumière laser permettent son application en dentisterie. En effet cela permet de concentrer la lumière sur un espace restreint avec des impulsions courtes dans le temps [50].

La lumière excite les atomes. Comme expliqué précédemment, il y a différentes sortes d'émissions. Lorsque qu'un atome est dans un état de repos et qu'il reçoit une certaine longueur d'onde, l'atome passe de l'état de repos à l'état excité. C'est l'absorption de la lumière. Lorsque que l'atome est excité il peut revenir naturellement à l'état de repos, c'est ce qu'on appelle l'émission spontanée. Par la suite, Einstein découvre l'émission stimulée. Le principe est que lorsque l'atome est à l'état excité et a donc déjà absorbé un photon, on lui envoie un deuxième photon avant que l'atome se désexcite. Cependant ce deuxième photon n'est pas absorbé mais permet d'augmenter la désexcitation de l'atome et de le stimuler. L'atome émet un troisième photon équivalent au deuxième et émet deux photons identiques. C'est la base de l'effet laser. C'est pourquoi les propriétés du laser dépendent des atomes présents dans le milieu actif [3].

Afin de produire cet effet, le LASER est donc composé d'une cavité de résonance constituée de deux miroirs à réflexion complète et partielle, ainsi qu'un milieu amplificateur qui permet une réserve d'atome. C'est le milieu actif qui détermine la longueur d'onde et c'est pour cela que le milieu actif différencie les lasers (solides, gazeux...). Il faut aussi un système de pompage qui peut être optique, électrique ou chimique. Cela permet l'inversion de population et donc l'émission stimulée. Il s'effectue donc une inversion de population dans un milieu actif par pompage au sein d'une cavité de résonance.

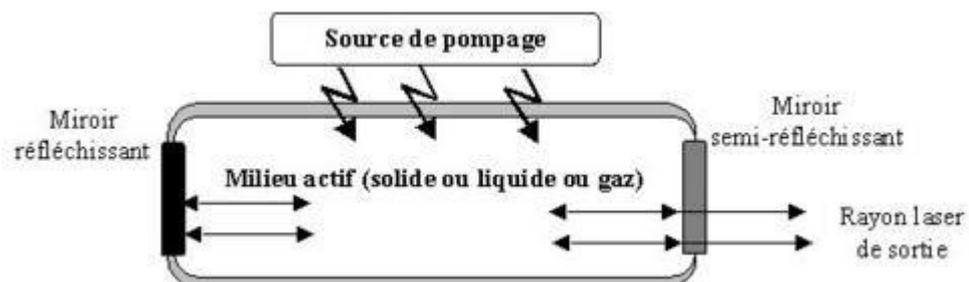


Figure 2: Schéma de principe d'un laser[64]

Le LASER présente différents paramètres à régler avant application car c'est l'énergie que délivre le laser sur un tissu qui détermine son effet :

- L'énergie : elle dépend de trois paramètres (le temps d'exposition, la surface exposée ainsi que la puissance de sortie délivrée).
- La puissance lumineuse : elle s'exprime en Watt (W).
- La fluence : c'est la puissance lumineuse multipliée par le temps d'exposition qui donne comme résultat l'énergie reçue par le tissu qui s'exprime en Joules (J).

Sur l'appareil en lui-même, le chirurgien-dentiste doit donc être attentif à la puissance de l'appareil ainsi qu'à la durée des impulsions et à la distance avec le tissu qui vont avoir différents effets sur les tissus visés.

2.2 Fonctionnement

Pour bien comprendre le fonctionnement du Laser, il faut savoir que la lumière du LASER ne pénètre pas uniformément le tissu visé et de manière homogène. Il existe quatre phénomènes distincts qui peuvent se produire.

Lorsque que la lumière rencontre le tissu, une partie subit un phénomène de réflexion. La lumière est réfléchiée et ne concerne plus le tissu visé, c'est une perte d'énergie et elle ne rentre plus en contact avec celui-ci [50]. C'est pour cela que des lunettes de protection sont nécessaires à l'utilisateur du LASER.

Pour la lumière qui parvient au tissu, deux phénomènes peuvent se produire : soit elle est transmise soit elle est absorbée. Ce qui différencie l'absorption et la transmission est l'affinité pour les tissus. La lumière transmise n'a aucun effet sur un tissu car elle ne présente aucune affinité avec celui-ci contrairement à la lumière absorbée qui présente une affinité plus ou moins élevée pour le tissu et permet l'utilisation des différents effets du LASER.

Le dernier phénomène est celui de la diffusion. Lors de la sortie du LASER, la lumière est rectiligne mais lorsqu'elle rencontre le tissu vivant, la lumière se propage dans différentes directions et donc dans différentes profondeurs. C'est ce qui permet d'agir au niveau des tissus à des profondeurs variables, que ce soit en surface ou en profondeur. Ce qui intéresse le plus le chirurgien-dentiste est donc la lumière absorbée ainsi que diffusée qui sont responsables des effets sur le tissu biologique. Il faut donc connaître les propriétés des différents LASER ainsi que leurs affinités respectives afin d'optimiser leurs utilisations. Plus la lumière du LASER aura une forte affinité avec le tissu, plus les effets seront importants.

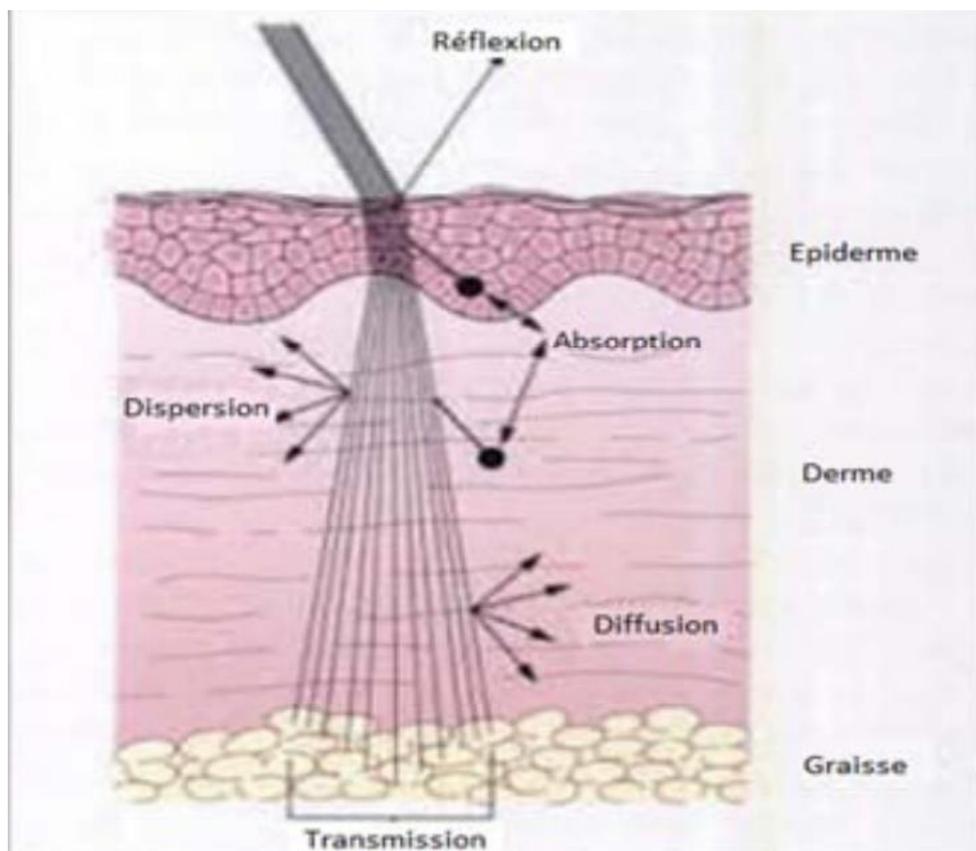


Figure 3: Phénomènes lors de l'interaction du laser avec la peau [1]

Les indications en dentisterie sont donc nombreuses du fait des différents effets possibles du Laser sur les tissus biologiques. Ils sont classés selon cinq principaux effets :

- L'effet thermique
- L'effet photoablatif
- L'effet mécanique
- L'effet photochimique
- La bioactivation et biostimulation cellulaire

2.2.1 Les effets du LASER

Nous allons dans cette partie décrire les différents effets du Laser qui peuvent être utiles au Chirurgien-Dentiste. En effet, le Laser peut s'utiliser dans différents cas cliniques et ses utilisations peuvent être multiples, que ce soit en dentisterie classique ou plus spécialement en endodontie. Le Chirurgien-Dentiste doit avoir connaissance des différents effets du Laser afin d'optimiser son utilisation en fonction des différents tissus et de ses effets recherchés pour ne pas léser ceux-ci.



Figure 4: Interface du laser diode (Source : Dr Linez)

Le LASER peut être utilisé pour son effet thermique. C'est l'un des principaux effets recherchés. Pour passer de la lumière à la chaleur et lui conférer son effet thérapeutique, il se succède trois événements : cela commence par la conversion de la lumière en chaleur puis cette chaleur, par les phénomènes de diffusion et absorption, est transférée et enfin les tissus qui vont réagir à la chaleur.

Plus la chaleur augmente, plus les effets sont importants. Les principaux effets recherchés sur les tissus vivants sont la volatilisation ainsi que la coagulation. L'effet thermique sur les tissus se découpent en plusieurs étapes :

- Entre 37°C et 60°C se produit l'échauffement. Les premiers effets thermiques font leurs apparitions et sont encore réversibles. Cela entraîne une hyperthermie.
- Entre 60°C et 100°C se produit la coagulation qui crée une nécrose irréversible sans destruction tissulaire immédiate. Il se produit une rétractation des tissus par dénaturation des protéines et du collagène.
- A plus de 100°C, la vaporisation se met en place. Il y a dans ce cas une perte de substances des tissus. L'eau s'évapore des tissus et une carbonisation des chaînes protéiques se déclenchent [59].

La cible du laser est donc l'eau que ce soit sur les tissus durs ou les tissus mous. La teneur en eau des tissus tel que la dentine, la gencive ou les tissus carieux permet au laser de produire leurs effets thermiques et permet la vaporisation qui contribue au nettoyage. C'est pour cela qu'il faut faire attention à chaque tissu ayant des propriétés thermiques différentes, une teneur en eau différentes et nécessitent une longueur d'onde différentes pour être traité et éviter toutes lésions irréversibles.

Le LASER a aussi un effet photoablatif. La photoablation est une attaque chimique spontanée qui se produit lors de l'absorption, à la surface du matériau, dû à une impulsion laser, lumineuse, dont l'énergie est supérieure à la valeur du seuil d'ablation [30].

L'effet photoablatif est utilisé avec des lasers dont la lumière a une forte affinité avec les tissus et qui ont une longueur d'onde fortement énergétiques comme les lasers UV par exemple. L'effet photoablatif génère une rupture des liaisons des molécules organiques des tissus, sous l'effet du champ électrique associé à la lumière, sans diffusion thermique sur les berges. C'est l'effet des photons du LASER présentant une énergie plus élevée que les liaisons moléculaires qui permettent la photoablation. L'avantage de l'effet photoablatif est qu'il permet d'éviter toutes lésions thermiques [47].

Le LASER peut avoir un effet mécanique. Lors d'une impulsion très courte de l'ordre de la nanoseconde et irradiante, il est possible de créer des champs électriques très élevés qui forment un plasma. Le plasma est un état de la matière comme l'état solide, liquide, gazeux. C'est une matière partiellement ou totalement ionisée. Un plasma est électriquement neutre car il présente des ions positifs et des électrons négatifs. Du fait de l'expansion du plasma, une onde de choc va se propager et vont exercer une pression très importante et engendrer une rupture mécanique des liaisons tissulaires. L'effet mécanique permet d'éviter les dommages thermiques. L'effet mécanique participe à l'ablation et au nettoyage qui ne peuvent être nettoyés avec des instruments conventionnels [46].

Le LASER peut être utilisé par le Chirurgien-Dentiste pour son effet photochimique, qui est aussi appelé Photothérapie Dynamique (Photodynamic Therapy : PDT). C'est un processus en deux temps et qui consiste à sensibiliser une lésion grâce à un photosensibilisant puis de le détruire par application d'un rayon lumineux. Dans un premier temps, on injecte un sensibilisant dans la lésion pendant une période donnée qui peut aller de quelques minutes à plusieurs heures voire quelques jours. Par la suite il faut exposer la lésion à un rayon lumineux sans effet thermique et à une longueur d'onde donnée qui est absorbée par le photosensibilisant [37].

Le photosensibilisant est essentiel pour avoir un effet photochimique. Il est non toxique et s'il est utilisé seul, ne provoque aucun effet thérapeutique. La lumière LASER permet d'obtenir un effet thérapeutique. Il peut se produire deux types de réactions. Dans la première interaction, le photosensibilisant interagit avec les molécules à son contact et crée des phénomènes d'oxydoréduction et par différents processus faisant intervenir l'oxygène en majorité, détruisent les molécules avoisinantes ainsi que le photosensibilisant. Alors que dans le deuxième type d'interaction, il y a un transfert d'énergie vers l'oxygène qui permet au photosensibilisant de revenir à son état d'origine et donc de recevoir de nouveau de l'énergie. Lors du transfert d'énergie, l'oxygène devient singulet qui est un état métastable. L'oxygène singulet oxyde tous les constituants cellulaires à son contact et diffuse très peu, ce qui permet d'avoir un effet localisé. C'est le mécanisme le plus fréquent et qui va agir sur les membranes cellulaires. C'est utilisé dans un but

diagnostique permettant la localisation ou bien thérapeutique en détruisant le tissu pathologique [6]. En dentisterie, cette technique sera utile pour la détection des cancers buccaux ainsi que dans le traitement des lichens plan, leucoplasies.

Le LASER permet aussi la biostimulation tissulaire qui provoque un effet antalgique et anti-inflammatoire. Le LASER agit sur les tissus vivants sans les détruire ou les endommager. En effet, la lumière modifie l'activité des cellules et peut même activer la prolifération cellulaire. Cette technique se prénomme la L.L.L.T (Low Level Laser Therapy). Pour la LLLT, il faut utiliser des lasers de faibles énergies qui se rapprochent du rouge en longueur d'onde voir de l'infrarouge avec une exposition conséquente dans le temps compatible avec son utilisation en cabinet. Cette technique permet d'agir sur les tissus durs ainsi que les tissus mous. Sur les tissus mous, cela va agir sur les fibroblastes et son activité cellulaire [56].

Lors de faibles doses, la LLLT agit sur la prolifération tandis qu'à fortes doses, il y a un effet suppressif. Lors d'une exposition faible, il y a une prolifération cellulaire accrue et une production de bFGF qui sont les facteurs de croissance des fibroblastes ainsi qu'une diminution des facteurs de l'inflammation [51]. Ce qui va jouer un rôle dans la cicatrisation avec notamment la formation de fibroblastes en myofibroblastes et qui favorisent une cicatrisation optimale. Il a été prouvé que les fibroblastes gingivaux en culture vont induire leurs transformations en myofibroblastes, 24 heures après le début du traitement laser [44].

LLLT permet donc une meilleure cicatrisation des tissus. En dentisterie cela peut être notamment utilisé pour des aphtoses, des granulomes périapicaux, ainsi que des gingivites mais il n'y a pas eu d'effets bénéfiques recensés pour les alvéolites, herpès labiaux, ou encore péri coronarites [56].

LLLT a aussi un effet analgésique. Cela permet de diminuer le seuil de délivrance des nocicepteurs libérés par les nerfs de la cavité buccal [18]. Cela va agir sur les nerfs périphériques de faible conduction donc responsables de la douleur pour le froid, le chaud ou encore la piqûre. Il faut utiliser une longueur d'onde comprise entre 632nm et 904nm.

2.3 Les différents types de laser en dentisterie

En dentisterie, le chirurgien-dentiste a à sa disposition différents types de Laser qui ont chacun un objectif clinique bien précis. Les lasers sont classés en fonction des paramètres vus dans la partie précédente ou en fonction de leurs longueurs d'onde en nanomètres, ou de leurs modes d'émission (continue, pulsée), ou encore leurs puissances en watts.

Il existe des lasers de différentes puissances qui coïncident avec leur propriété thérapeutique. Les lasers de fortes puissances sont utilisés en priorité pour leur effet thermique comme c'est le cas pour le laser Nd-YAG ou encore le laser à CO₂. Les lasers de moyenne puissance qui ont un effet thermique mais aussi photochimique concernent les lasers diode. Et enfin, il existe les lasers dit « soft lasers » qui sont de faibles puissances comme le laser hélium Néon et qui ont la propriété d'être athermiques.

Dans la partie suivante, nous allons décrire les différents lasers utilisés par le Chirurgien-dentiste avec ses leurs indications en omnipratique et par la suite les Lasers utilisés en endodontie.

Tableau 1 Lasers et longueurs d'onde associées [source personnelle] :

Type de laser	Longueurs d'onde
Argon	457nm à 514nm
KTP	532nm
Diode	812nm à 980nm
Nd : YAG	1064 nm
Nd : YAP	1340 nm
Er,Cr :YSGG	2790nm
Er : YAG	2940nm
CO ₂	9500nm à 10600nm

2.3.1 Diagnodent

Le laser DIAGNODENT est un outil permettant la détection des caries. Il contrôle la surface dentinaire lors du curetage carieux. Diagnodent est un laser diode qui génère un faisceau pulsé de longueur d'onde 655nm. Il s'agit d'un système de fluorescence laser qui détecte les changements de structures de la dent induite par la déminéralisation. Ces changements de structures qui sont induite par la déminéralisation provoquent une augmentation de la fluorescence à des longueurs d'onde spécifique [2].

Le laser affiche une valeur numérique qui renseigne sur le degré de profondeur du tissu carieux à l'aide d'un signal acoustique. L'appareil a une échelle de valeur allant de 0 à 99. Une valeur entre 20 et 25 indique la présence d'une lésion carieuse et plus l'échelle augmente, plus la lésion carieuse est profonde. Le fonctionnement de Diagnodent n'est pas encore bien compris. Il existe deux théories à ce sujet. La première théorie est lorsque la lumière rouge rencontre une porosité que l'on retrouve lors de déminéralisation, cela stimule une lumière fluorescente d'une autre longueur d'onde. La deuxième théorie concerne certains métabolites bactériens tels que les porphyrines et qui entraîneraient la fluorescence rouge des lésions carieuses [5].

Avant d'utiliser le laser Diagnodent, il faut le calibrer avec une pièce céramique conçue à cet effet pour étalonner le laser. Ensuite, la fluorescence d'une surface lisse de la dent permet d'avoir une valeur de référence. Cette valeur est ensuite déduite électroniquement de la fluorescence du site à évaluer. Diagnodent est surtout efficace sur les caries occlusales [32].

Diagnodent peut donc être un outil à l'examen clinique mais qui a ses limites. Il est préférable de l'utiliser pour les surfaces occlusales ou lisses. L'autre limite est que Diagnodent est efficace dans la détection de déminéralisation mais n'est pas aussi efficace dans la détection de reminéralisation des tissus [36].

2.3.2 Laser argon

Le laser argon a une longueur d'onde allant de 457 nm (bleu) à 514 nm (vert). Le laser est bien absorbé par la mélanine de la peau, l'hémoglobine pour la coagulation mais est très peu absorbé par l'eau et les protéines. Le laser Argon a différentes indications en dentisterie. Il est utilisé pour la chirurgie pour ses propriétés hémostatiques, la parodontie avec son activité bactéricide ainsi qu'en endodontie pour la stérilisation des canaux.

Son utilisation principale pour le chirurgien-dentiste est la polymérisation des composites. En effet sa longueur d'onde permet l'activation de la camphorquinone qui est un photo-initiateur dans la photopolymérisation des composites. Il a été prouvé que la polymérisation par le laser argon a un degré de polymérisation supérieur en permettant de meilleures propriétés physiques et des forces de liaison plus importantes. Le laser joue un rôle dans la prévention des échecs cliniques notamment au niveau des restaurations. Il augmente la rétention et réduit les réponses pulpaires défavorables aux monomères non polymérisés du composite.

L'avantage du laser Argon est aussi sa réduction du temps d'exposition nécessaire à la polymérisation du composite. Il est utile pour réduire le temps au fauteuil ou lorsque la pose d'un champ opératoire tel que la digue pour obtenir une préparation sèche est impossible.

Le laser argon possède une pénétration importante ce qui permet de photopolymériser des composites à travers des zones plus épaisses des tissus dentaires et possède une angulation qui rend l'accès possibles à des zones compliquées [21].

2.3.3 Laser Nd/YAG

Le laser Nd/YAG a pour longueur d'onde 1064 nm. Il est notamment utilisé en chirurgie. Il agit sur les tissus mous, la désinfection, le retrait des tissus de granulation. Il est aussi utilisé pour inciser et coaguler les tissus mous lors de chirurgie. Il faut le manier avec beaucoup de précaution car il possède un effet de diffusion important contrairement à l'absorption qui est faible et qui entraîne donc un risque d'échauffement des tissus avoisinants de la zone à traiter.

Il possède aussi des indications au niveau des tissus durs. Il possède un fort effet thermique qui permet la décontamination et la stérilisation des cavités à la suite d'un traitement carieux ou bien dans la stérilisation des canaux endodontiques.

Le laser Nd/YAG est très utilisé en endodontie. Il est notamment utilisé pour la désobturation canalaire grâce à son effet photomécanique. La fibre du laser est amenée au niveau de la pâte d'obturation puis lors de l'émission du laser, la gutta se ramollit, voire se détruit sous l'effet du laser. Un protocole classique de désobturation suffit par la suite pour retirer la gutta.

Il est ensuite utilisé pour la décontamination des canaux par son effet photochimique. Les canaux sont remplis d'eau oxygénée et la fibre laser est insérée dans le canal sans être activée puis par un mouvement de retrait vers la sortie canalaire engendre un effet de souffle dans les canaux accessoires du produit lors de l'activation du laser. Le résultat clinique peut être observé par le liquide qui devient blanchâtre et des bulles d'O₂ se forment. Chaque séquence du laser dure environ cinq à dix secondes [42]. Le laser joue un rôle essentiel dans l'activation de l'eau oxygénée et donc la décontamination canalaire. La production d'oxygène activée par le rayonnement dans l'eau oxygénée assure une réduction bactérienne significative [31].

2.3.4 Laser KTP

La longueur d'onde du laser KTP est de 532nm qui se rapproche de celle du laser Argon et émet dans le vert. Lorsque le laser Nd/YAG de 1064 passe à travers un cristal de KTP (potassium-titanyl-phosphate), sa longueur d'onde se divise par deux et donne le laser KTP de longueur d'onde 532nm. Cette longueur d'onde correspond à la fréquence d'absorption des pigments tissulaires tel que l'hémoglobine mais possède une plus faible absorption dans l'eau.

Comme pour le laser Nd/YAG, le laser KTP est utilisé en chirurgie pour la cicatrisation. Contrairement au laser Nd/YAG, le laser KTP possède un pouvoir pénétration tissulaire plus faible. Le laser KTP permet donc une coagulation superficielle des tissus et évite la nécrose tissulaire qui peut être engendré par le laser Nd/YAG [4].

Le laser KTP est utilisé en endodontie. Il agit sur la dentine et la dentine profonde du canal radiculaire. Il a été prouvé par une étude du centre de dentisterie conservatrice de Vienne que le laser KTP convient pour désinfecter les couches les plus profondes de dentine et ainsi égaler les résultats obtenus avec les lasers tel que Nd/YAG ou encore Er:YAG. L'étude a été réalisée sur plus de deux cents couches de dentine de prémolaires récemment extraites. Elles ont été stérilisées puis inoculées de *Escherichia coli* ou d'*Enterococcus Faecalis*. Les résultats ont prouvé que le laser a permis de réduire de manière importante ces deux souches. Le laser a permis l'éradication complète D'*E.coli* dans 75 pourcents des échantillons. Pour *E.faecalis*, un changement mineur au niveau du nombre de bactéries a pu être observés pour une puissance de 1W mais en utilisant un réglage plus élevé de 1,5 W, les lasers KTP ont permis de les éradiquer. Le laser KTP est alors utile pour la désinfection du canal radiculaire [48].

Le Laser KTP est utilisé pour le blanchiment dentaire. Pour rappel, la laser KTP est bien absorbé par l'hémoglobine ainsi que la mélanine mais très peu par l'eau. Or la dentine est composée essentiellement d'eau. Cette caractéristique permet au laser KTP de pénétrer la dentine en minimisant les dommages. De plus, ces lasers produisent des photons de hautes énergies de longueur d'onde plus faible qui

permettent de progresser dans les tissus avec des dommages moindre pour les tissus durs et mous de la dent. Les produits de blanchiment classiques ont un PH acide qui provoquent un mordançage de la surface dentaire. Le blanchiment par le laser KTP va permettre d'éviter que la surface dentaire ne s'abrase ou ne se déminéralise [26].

2.3.5 Laser diode

Le laser diode a une longueur d'onde pouvant aller de 812nm à 980nm et a une puissance allant de 2 à 20 W même si la puissance la plus fréquente est de 5W. Le laser diode est absorbé de façon importante dans l'hémoglobine, la mélanine mais est fortement absorbé par l'eau et n'est pas du tout absorbé par l'Hydroxyapatite. L'absence d'absorption dans l'hydroxyapatite rend l'utilisation du laser diode sécurisée lors de son utilisation aux alentours de tissus dentaires. Diagnodent fait partie de la famille des lasers diode.

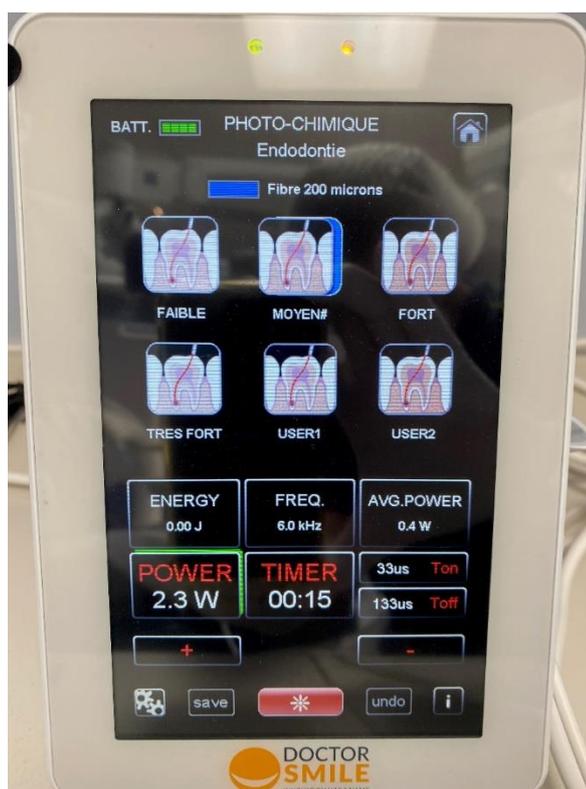


Figure 5: Ecran tactile du laser diode [Image fournie par le Dr Linez]

Les lasers diode sont utilisés notamment en chirurgie. Au même titre que le laser argon, le laser diode est utilisé afin d'effectuer des gestes d'incisions de tissus mous et de coagulation ainsi que dans la décontamination de poches parodontales.

La LLLT « Low Level Laser Therapy » vu précédemment se réalise à l'aide du laser diode et permet alors la biostimulation et une diminution de la douleur post opératoire [27].

Une autre indication des lasers diode sont en P.A.D « Photo Activated Disinfection » et en P.D.T « Photo Dynamic Therapy ».

En P.A.D, la désinfection chimique en est l'objectif et se réalise à l'aide d'un photoactivateur qui agit sur un photorécepteur qui est spécifique d'une bactérie. Le laser active le photorécepteur qui provoque une réaction chimique avec la bactérie et entraîne sa mort. Le but de la P.AD est d'agir sélectivement, en effet des études ont démontré que le fait de détruire toutes les bactéries du biofilm dentaire crée un terrain favorable pour la colonisation secondaire par des bactéries pathogènes. L'autre avantage de la P.A.D est d'éviter toutes formes de résistances des bactéries aux produits de désinfection ou à la technique de P.A.D. Le laser seul n'a pas de pouvoir létale mais c'est son association avec des colorants libérant de l'oxygène qui est dans ce cas létale. Les colorants tel que le bleu de toluidine libèrent l'oxygène singulet nécessaire à l'action sur les bactéries. L'oxygène singulet endommage alors la membrane et l'ADN des bactéries [40]. La technique P.A.D est efficace contre la plaque sous-gingivale mais aussi dans les lésions carieuses dû au fait que la lumière rouge traverse bien la dentine et cible les bactéries ainsi que les bactéries des canaux radiculaires en endodontie. Le colorant vise essentiellement les Gram positif et négatif [57]. En P.A.D, les lasers utilisés sont donc les lasers diode mais aussi les lasers HeNe de longueur d'onde 632 nm. Le temps d'irradiation varie de 5s à une minute en fonction de la puissance du laser.

La technique P.D.T repose sur le même principe. Le photoactivateur (dérivé de la porphyrine) est cependant plus puissant que pour la technique P.A.D lorsque celui-ci est activé par le laser. Son caractère plus puissant permet d'agir sur les tumeurs malignes de la muqueuse buccale. La même réaction se produit avec la création d'oxygène appelé ROS (Reactive Oxygène Spicies) comme l'oxygène singulet et autres radicaux libres. Ils agissent directement sur le réseau vasculaire et provoquent la nécrose et l'apoptose des cellules associées à ce réseau. Les sites traités présentent alors des caractéristiques tel qu'un érythème, un œdème et par la suite une

nécrose et une ulcération qui peut prendre jusqu'à huit semaines pour guérir totalement [19].

Les indications sont nombreuses : lichen plan, cancers oraux, infection bactérienne, champignons, leucoplasie, ou encore des cancers de la nuque et de la tête. L'avantage est l'absence de génotoxicité et de mutagènes à long termes lors du traitement et lors du suivi postopératoires. La technique P.D.T propose donc de nombreux avantages par rapport à la chirurgie ou radiothérapie. Les effets secondaires sont moins fréquents et moins importants, peu de cicatrices, est très précis et est effectué en ambulatoire ou à l'hôpital [28].

Les lasers diode sont aussi utilisés en endodontie pour la désinfection canalaire. Une étude du département de dentisterie de Aachen en Allemagne a permis de prouver l'efficacité du laser Diode en termes de réduction bactérienne dans le système canalaire. Des tranches de dentine bovine allant de 100um à 500um ont été stérilisées et inoculées de *Enterococcus faecalis*. Le laser diode utilisé est de puissance 0.6 Watt. Le résultat est la réduction significative, plus de 75 pourcents, du nombre de bactéries sur les coupes les plus épaisses. Cela prouve l'utilité du laser diode dans les traitements endodontiques visant à réduire la charge bactérienne [22].

2.3.6 Laser CO2

Le laser CO2 possède une longueur d'onde de 10 600 nm. Cette longueur d'onde permet au laser d'être fortement absorbé dans l'eau mais très peu dans l'hémoglobine. Il permet la coagulation des tissus mous par un effet de diffusion thermique. Il est utilisé principalement en chirurgie. Ses applications cliniques sont nombreuses. Le chirurgien-dentiste utilise le laser CO2 pour inciser, exciser, permettre l'hémostase et la coagulation et présente un effet bactéricide permettant la stérilisation.

Ses indications sont donc nombreuses : gingivoplastie, frénectomie, hyperkératose, angiome [61].

Le laser CO2 possède différents paramètres qui permettent de varier son utilisation. Le mode focalisé produit l'effet d'incision avec un diamètre de faisceau de quelques dixièmes de millimètres et sa forte puissance crée une vaporisation de l'eau des tissus. Le mode défocalisé permet la photoablation avec une puissance plus faible

que le mode focalisé, et entraîne la vaporisation plus étendue mais moins profonde des tissus.

Le laser CO2 présente une forte absorption dans l'hydroxyapatite. Lors d'un traitement chirurgical, il est nécessaire de protéger les surfaces dentaires. Néanmoins le laser CO2 comprend des indications sur les tissus durs. Le laser CO2 agit sur la décontamination de la dentine infiltrée. Il est utilisé aussi pour l'éviction gingivale même s'il n'est pas le laser de choix pour cette indication en comparaison au laser Erbium par exemple [45].

Le laser CO2 sert aussi en endodontie. L'inconvénient de ce laser est qu'il n'est pas conduit à l'aide de fibre optique et est donc moins adapté pour le traitement endodontique comme le Nd-YAG par exemple. Il est utilisé essentiellement pour la chirurgie endodontique. Son effet bactéricide, son accessibilité plus aisée que des rotatifs, son hémostase plus rapide et efficace en fait un bon outil dans la chirurgie endodontique, tout comme le laser Erbium qui sera détaillé dans la partie suivante [14].

2.3.7 Laser erbium

Différentes longueurs d'onde existent dans la famille des lasers erbium. Le laser Er/YAG possède une longueur d'onde de 2940nm tandis que le laser Er/YSGG a une longueur d'onde de 2790nm. L'eau présente dans les tissus est fortement absorbée par les lasers Erbium et possède une grande affinité pour l'hydroxyapatite. Le laser erbium a des propriétés photomécaniques et participe à l'ablation des tissus qu'ils soient mous ou durs.

Le laser erbium utilise un système d'irrigation qui produit alors peu de chaleur, donc lors de son utilisation, l'hémostase est plus faible et ne permet pas de travailler sans saignements. Le fonctionnement du laser repose sur la vaporisation de l'eau dans les tissus. Lors de son utilisation dans la dentine par exemple, la vaporisation entraîne une expansion de son volume qui provoque une destruction du tissu dentaire. C'est pour cela que l'irrigation est nécessaire lors de son utilisation pour contrôler l'augmentation de la température. Le risque est de provoquer une fusion des substances dentaires si la température n'est pas régulée par un système d'irrigation.



Figure 6: Laser erbium YSGG [image fournie par le Dr Linez]

Le laser Erbium présente différents domaines d'applications que ce soit en dentisterie conservatrice, en parodontologie, en chirurgie ou encore en endodontie.

En dentisterie conservatrice, le laser erbium est utilisé lors de l'éviction carieuse. La destruction des tissus durs comme la dentine et l'émail va permettre la préparation de la cavité dentaire avec un minimum de dommage thermique sur les tissus avoisinants.

En parodontologie, le laser erbium décontamine et stérilise les poches parodontales et est aussi une alternative au détartrage classique avec ultrasons. Lors du détartrage, il retire le tartre sous-gingival mais aussi le ciment contaminé. Contrairement au laser CO₂, le laser erbium n'entraîne pas de lésions secondaires tel que des micros-fractures dues à une augmentation de la température. Son effet bactéricide agit sur les bactéries pathogènes du parodonte et est donc un complément aux techniques classiques en parodontologie.

Le laser erbium par son affinité avec l'eau est utilisé en chirurgie notamment pour l'ablation d'os lors d'ostéoplastie. Ses autres indications sont la résection apicale, les prélèvements osseux ou encore traités, les lichen plan, épulis, fibrome, frénectomie.

En endodontie, la laser erbium décontamine et stérilise les canaux radiculaires. L'action conjointe du laser erbium et des techniques conventionnelles manuelles permettent la décontamination radiculaire. Le laser erbium interagit avec les systèmes d'irrigation comme l'hypochlorite qui présente une dilution dans l'eau. Lors de l'utilisation de l'erbium, l'eau est alors absorbée et provoque l'implosion de la molécule d'eau et par conséquent de l'hypochlorite. Il permet donc de décontaminer les canaux radiculaires principaux mais aussi accessoires. Les laser erbium sont utilisés en endodontie pour leur irradiation directe bactéricide, leur désinfection photo activée ainsi que l'activation de l'irrigant comme l'hypochlorite en permettant de réduire la boue dentinaire [25].

2.4 Le laser en endodontie

Les avancées technologiques ont permis au laser de prendre une place de plus en plus importante dans le milieu de la dentisterie et notamment en endodontie. L'endodontie a pour but la désinfection et la stérilisation du réseau canalaire afin de garantir un succès thérapeutique plus important. Il est donc primordial de réduire au maximum la charge bactérienne avant l'obturation des canaux radiculaires. Le laser aide le chirurgien-dentiste dans son travail mais ne remplace pas les techniques dites "classiques" de l'endodontie. L'utilisation de moyens mécaniques, rotatifs ou encore des irrigants reste essentielle en endodontie. Ces techniques couplées au laser vont potentialiser les effets avec pour but une meilleure désinfection finale des canaux radiculaires.

2.4.1 Les différents types de laser utiles en endodontie

Différents lasers sont recommandés en endodontie, néanmoins certains sont plus efficaces que d'autres. Les lasers qui se rapprochent de l'infrarouge sont plus performants en endodontie. Les lasers diode et Nd/YaG ont une capacité de diffusion importante dans les tubulis dentinaires pouvant atteindre jusqu'à un millimètre pour Nd/YaG, permettent aussi une irradiation directe ainsi qu'une affinité importante aux membranes bactériennes qui sont endommagées par leur effet thermique.

Les lasers erbium sont aussi utilisés en endodontie et pénètrent eux aussi les parois des canaux radiculaires. De plus, les phénomènes photo acoustiques créés par le laser erbium permettant l'explosion des molécules d'eau des agents d'irrigations engendre une désinfection importante du système canalaire. La boue dentinaire est évacuée le long des parois radiculaires [8].

Les lasers proches infrarouge sont plus efficaces dans la décontamination des canaux radiculaires notamment dû à une meilleure pénétration dans les tissus et un meilleur contrôle des effets thermiques. Le laser Erbium est plus efficace en surface au niveau de la dentine avec une forte affinité avec *E.coli* par exemple. Une étude montre que l'utilisation optimale pour le laser Erbium est de 1,5 W pour une réduction de 96 pourcents de la charge bactérienne [58].

Tableau 2: Effets des différents lasers en endodontie [39] :

	CO2	Erbium	Er :YSGG	KTP	ARGON	DIODE	Nd :YAG	He-Ne
Coiffage pulpaire direct	X	X						
Séchage canal radiculaire	X	X	X					
Evacuation boue dentinaire		X	X					
Désinfection canal radiculaire		X	X	X	X	X	X	
Désinfection photo activée par colorants							X	X

Les indications de ces lasers en endodontie sont donc nombreuses comme les traitements chroniques et aiguës périapicaux, les traitements endodontiques et de retraitement ou encore les lésions endo parodontales. Afin d'augmenter le succès thérapeutique, le chirurgien-dentiste suit un protocole bien précis lors du traitement endodontique ainsi qu'une utilisation rigoureuse des différents lasers. Le respect du protocole optimise les effets du laser sur les irrigants et donc sur les bactéries.

2.4.2 Effet du laser sur les liquides d'irrigation

Le laser agit sur les irrigants donc sur les bactéries et par conséquent sur la surface dentinaire via les effets thermiques, mécaniques comme vus précédemment. Pour rappel, les lasers via leurs effets photothermiques détruisent les membranes cellulaires qui dégradent les bactéries par augmentation du gradient osmotique. Le laser erbium quant à lui, via une onde de choc en présence de liquide provoque un effet bactéricide. Si les lasers agissent sur les bactéries, il y a aussi une répercussion sur les parois dentinaires. Les lasers provoquent une augmentation de la chaleur qui endommage la paroi dentinaire, c'est pour cela qu'ils sont utilisés en majorité avec des irrigants. Sans cette irrigation, un risque d'endommagement important voire une perforation de la paroi peut se former. Lorsque le canal est refroidi avec de l'eau lors de l'utilisation du laser erbium, les contraintes sur la dentine sont moins importantes. Le chirurgien-dentiste doit alors bien contrôler son irrigation et l'irradiation du laser afin d'éviter une fracture radiculaire [60].

Il existe de nombreux moyens permettant de réduire la charge bactérienne à l'aide de différentes techniques d'instrumentations, de médicaments intra-canaux et de système d'irrigation. La désinfection chimique est efficace lorsqu'elle se propage dans le système canalaire. L'hydroxyde de calcium et l'hypochlorite de sodium seuls ont un pouvoir de pénétration des tubulis dentinaire faible de l'ordre de 130um [41]. C'est aussi le cas pour les agents chélatants comme l'EDTA (acide éthylène diamine tétraacétique).

Les lasers via leurs longueurs d'onde permettent la décontamination bactérienne. Les lasers proches de l'infrarouge, après une préparation cavitaire entraînent une décontamination avant obturation du système endodontique. Ils sont équipés d'une fibre optique de 200um de diamètre allant jusqu'à un millimètre de l'apex afin de décontaminer la totalité du système canalaire qui est ensuite retiré de façon spiroïdale en direction coronaire. Pour éviter les lésions liées au risque thermique, le canal est irrigué EDTA ou encore d'hypochlorite de sodium. Les parois à l'aide de laser proches de l'infrarouge comme le Nd/YaG sont décontaminées de façon plus efficaces que si l'irrigation classique seule est utilisée. La réduction bactérienne est de l'ordre de 85% pouvant atteindre jusqu'à un millimètre de profondeur dans la paroi canalaire [49].

La diffusion de la lumière dans les tissus dentaires réduit la charge bactérienne. Une étude a montré que l'utilisation combinée du laser diode ainsi que des agents d'irrigation et d'EDTA détruisent la quasi-totalité (99,9%) d'*E.faecalis* [7].

Les lasers du moyen infrarouge comme le laser erbium décontaminent aussi le système canalaire. Le laser erbium propage les systèmes d'irrigation par un phénomène de cavitation. L'effet thermique provoqué par le laser erbium provoque la formation de bulles de vapeur. Ces bulles de vapeur lorsqu'elles explosent, provoquent un nettoyage accru dans le système canalaire et une pénétration accrue dans les tubulis dentinaires [63]. Le laser erbium est aussi utilisé dans le canal avec un retrait en spirale en direction coronaire. Ce mouvement se répète trois à quatre fois en irrigant le canal entre chaque passage afin d'éviter les lésions thermiques. Le laser erbium interagit de manière importante avec l'hypochlorite de sodium. Il diffuse l'hypochlorite de sodium dans le système canalaire mais il accélère aussi la formation de chlore libre qui permet d'activer l'hypochlorite de sodium. Il augmente donc son efficacité. Une minute d'activation à l'aide du laser est l'équivalent de 3 minutes de non-activation par laser en termes d'efficacité de décontamination[34].

Le laser erbium agit par irradiation directe ou comme vu précédemment par les techniques de désinfection photo activée et de thérapie photo dynamique. Les techniques d'activation de l'irrigation sont les techniques LAI (Laser Activated Irrigation) et PIPS (Photo Induced Photoacoustic Streaming).

La technique LAI repose sur les phénomènes thermiques des lasers du moyen infrarouge. Comme dit précédemment, l'hypochlorite de sodium a un pouvoir de pénétration n'excédant pas les 130 um, tandis que les bactéries peuvent coloniser les tubules dentinaires jusqu'à 1100 um. Le laser permet d'activer l'hypochlorite de sodium par des phénomènes d'agitation et d'augmentation de la température. Une augmentation de la température de l'hypochlorite permet une décontamination plus efficace. Une augmentation du temps de contact, une concentration plus élevée, un volume plus important présent dans le canal ainsi qu'une température de l'hypochlorite maintenue à 35 degrés permettent une meilleure dissolution des débris dentinaires que si l'hypochlorite n'est pas chauffé. L'autre avantage de l'hypochlorite stocké à température ambiante est qu'il peut se réchauffer rapidement à l'aide du laser

réduisant le temps de travail effectif [54]. La technique LAI est aussi possible avec les lasers proches de l'infra-rouge mais ils nécessitent un embout de 200µm ainsi qu'une puissance plus élevée afin d'augmenter la température de l'hypochlorite pour éliminer la boue dentinaire. En partant de cette technique, une autre est apparue : le flux photo acoustique induit par l'absorption des photons (PIPS)

La technique PIPS interagit avec les irrigants comme l'EDTA ou l'eau distillée et va inclure l'utilisation du laser Erbium[16]. La technique LAI repose sur les effets thermiques tandis que la technique PIPS repose essentiellement sur les effets photomécaniques et photo acoustiques avec de L'EDTA ou de l'eau distillée. L'utilisation de l'hypochlorite de sodium permet aussi d'augmenter la décontamination canalaire.[34] Les impulsions du laser interagissent avec les molécules d'eau dans le canal à une certaine puissance (400W) et produisent une onde de choc qui provoque un effet de flux de fluides dans le canal. L'avantage est l'absence d'effets thermiques indésirables[17].

La technique PIPS respecte un protocole bien précis. Le laser erbium peut être utilisé dès la préparation de cavité d'accès. Le chirurgien-dentiste peut néanmoins utiliser les instruments rotatifs traditionnels. Le protocole PIPS commence au début de la préparation canalaire. Après l'obtention de la longueur de travail, le chirurgien-dentiste doit après chaque passage d'un instrument de préparation canalaire (limes, instruments rotatifs), irriguer les canaux avec l'hypochlorite de sodium qui est activé par le laser Erbium durant trente secondes.

Les paramètres du laser sont bien précis :

- Durée de l'impulsion : 50 microsecondes
- Energie par impulsion : 20 mJ
- Fréquence d'impulsion : 15 Hz
- Spray désactivé

Une fois la préparation canalaire terminée, une dernière phase est réalisée afin d'éliminer la boue dentinaire[15]. Elle se réalise juste avant l'obturation canalaire. Le protocole est le suivant :

- 30 secondes de PIPS avec flux continu d'EDTA (3ml)
- 2 cycles de 30 secondes avec flux continu d'eau distillée
- 3 cycles de 30 secondes avec entre chaque cycle une pause de 30 secondes avec flux continue d'hypochlorite de sodium.
- 4 derniers cycles avant obturation d'eau distillée pendant 30 secondes

L'utilisation combinée de l'EDTA, l'eau distillée et l'hypochlorite permet une désinfection efficace du canal dentaire tout en évitant les effets thermiques néfastes pour la structure canalaire. L'autre avantage de la technique PIPS est son utilisation simplifiée. En effet contrairement à la technique LAI, l'utilisation du laser se limite à l'entrée canalaire et évite donc la pénétration du tube dans le canal devant aller jusqu'à un millimètre de l'apex pour ces techniques. Le laser erbium est équipé d'une tige cylindrique et dont l'énergie est libérée à la pointe de celle-ci sur les trois derniers millimètres. Les photons ainsi libérés dans la chambre pulpaire via les phénomènes de cavitation propagent l'onde de choc dans le canal. Cela permet une approche plus conservatrice et permet d'éviter tous risques d'extrusions au niveau de l'apex.

3. Cas cliniques

3.1 Protocole du laser en endodontie

Pour rappel, l'utilisation du laser suit un protocole précis. Celui-ci est différent en fonction de son objectif thérapeutique, et du type de laser.

La première étape est l'anesthésie puis la pose du champ opératoire afin d'assurer une asepsie, une étanchéité, et un confort de travail pour le Chirurgien-dentiste par le biais de la digue dentaire.

La deuxième étape est la préparation de la cavité d'accès. La cavité d'accès est réalisée par les instruments rotatifs traditionnels afin d'accéder aux entrées canalaires. Le laser erbium prépare aussi la cavité d'accès grâce à son affinité pour les tissus durs dentaires comme l'émail et la dentine. Le laser permet d'accéder à la chambre pulpaire en détruisant l'émail et la dentine tout en décontaminant les débris dentaires. Le chirurgien-dentiste accède alors aux entrées canalaires et peut entreprendre la préparation canalair sans risque d'introduire les bactéries du tissu pulpaire.

La troisième étape est la préparation du canal. Une bonne préparation canalair est impérative pour la réussite du traitement endodontique et de la bonne utilisation du laser. Notamment pour les lasers nécessitant l'utilisation d'une fibre optique, une préparation insuffisante ne permettra pas l'introduction du laser jusqu'à la longueur souhaitée. Une préparation avec des instruments en Nickel-Titane notamment reste essentielle à ce jour. Malgré l'efficacité du laser erbium, son utilisation pour préparer les canaux radiculaires est encore insuffisante à ce jour pour remplacer complètement les instruments classiques de préparation.

Une fois la préparation canalair terminée, il faut décontaminer les canaux radiculaires. Le chirurgien-dentiste irrigue alors les canaux à l'aide d'hypochlorite de sodium, d'EDTA ou encore d'eau distillée. Les techniques vues précédemment sont alors appliquées. Une fois les canaux décontaminés, le chirurgien-dentiste sèche les canaux à l'aide de pointes papiers stériles.

Le chirurgien-dentiste commence alors l'étape de l'obturation définitive. Le laser a la capacité de réchauffer la gutta-percha pour l'obturation.

L'obturation se réalise aussi par les moyens classiques d'obturation par thermocompaction ou à froid selon le chirurgien-dentiste. Les canaux obturés, la reconstitution coronaire peut alors commencer.

3.2 Cas clinique d'un traitement endodontique après un traumatisme

Un enfant de 12 ans se présente au cabinet après une chute de vélo. L'examen radiologique et clinique montrent un œdème de la lèvre supérieure ainsi qu'une fracture des bords libres des incisives centrales supérieures 11 et 21. Les deux incisives répondent correctement aux tests de vitalités.



Figure 7: Etat initial 11 et 21 [35]

Un an et demi après le traumatisme, un rendez-vous de contrôle est effectué. Une fistule est apparue en regard de la 21. La radiographie alvéolaire prise en introduisant un cône de gutta percha dans la fistule montre une tunnelisation jusqu'à la zone apicale de l'incisive centrale et, confirmée par la présence du radio clarté apicale.



Figure 8: Radiographie du Cône de Gutta dans la fistule [35]

La 21 ne répond plus aux tests de vitalités, la dent est en voie de nécrose pulpaire. La pulpotomie est donc réalisée ce jour.

Un nouveau rendez-vous est alors posé deux semaines plus tard afin de réaliser le traitement endodontique de la 21. Le chirurgien-dentiste pose tout d'abord la digue et retire ensuite le pansement afin d'accéder à la chambre pulpaire. Le canal a un volume et un diamètre très important. La mise en forme canalaire est effectuée à l'aide d'instruments manuels jusqu'à un diamètre de 120 ainsi que la WaveOne en rotation continue jusqu'à une longueur de 24mm. Les irrigants sont l'EDTA et l'hypochlorite de sodium. Après avoir bien calibré le cône de gutta percha qui est conservé dans une solution d'hypochlorite jusqu'à son utilisation, le chirurgien-dentiste réalise alors la désinfection finale à l'aide du laser Erbium-YAG. Le laser est alors introduit dans la chambre pulpaire et dans le canal jusqu'à 14mm ainsi que l'aiguille d'irrigation. La séquence de tir du laser peut alors commencer pendant une minute avec des tirs de 10 secondes entrecoupés de pauses de 5 secondes mais avec une irrigation continue afin d'éviter tout risque d'échauffement.

La première séquence de tir est effectuée sous irrigation continue d'EDTA pendant une minute à un débit de 1ml/min puis une seconde séquence sous irrigation continue d'hypochlorite de sodium à un débit de 4ml/min. Après l'assèchement du canal à l'aide de pointes papiers stériles, le chirurgien-dentiste passe alors à l'obturation définitive.



Figure 9: Radiographie de contrôle après l'obturation[35]

La radiographie montre une obturation dense et homogène sans dépassement au-delà de l'apex. La radiographie de contrôle réalisée deux mois après le traitement montre une disparition de l'image radio-claire à l'apex. Le laser Erbium a permis le nettoyage et la désinfection des tubulis dentinaires et canaux accessoires en potentialisant les effets des solutions d'irrigation malgré le diamètre important du canal radiculaire.



Figure 10: Radiographie de contrôle à deux mois [35]

3.3 Cas clinique d'un retraitement endodontique

Le deuxième cas clinique a pour but de montrer l'efficacité du laser dans le cas de retraitement endodontique. Dans ce cas, le laser utilisé est le laser Nd-YAG. La patiente présente une lésion apicale au niveau de la prémolaire gauche inférieure 34 qui a déjà reçu un traitement endodontique initial. La 34 présente une anatomie complexe avec trois racines qui sont mises en évidence lors de l'ouverture de chambre assisté par microscope optique ainsi qu'un traitement endodontique initial insuffisant.



Figure 11 : Radiographie rétroalvéolaires de 35 montrant la présence de deux racines [43]

Le laser a pour but de désinfecter les canaux radiculaires pour réaliser le retraitement endodontique pour obturer l'ensemble du réseau canalaire.

Le retraitement est réalisé sous digue et présente deux phases de traitement. La première utilise l'effet photomécanique du laser afin de réaliser la désobturation. L'extrémité de la fibre de 200 um du laser Nd-YAG est amenée au contact du matériau d'obturation présent dans les canaux. Les tirs de laser sont alors effectués, ce qui permet de ramollir la gutta pour faciliter la désobturation.

Un protocole classique de désobturation à l'aide de lime et d'agents chimiques de désobturation alterné avec les tirs lasers permettent le retrait de la gutta. Une fois la gutta retirée, la deuxième étape de désinfection commence à l'aide de l'effet photochimique du laser. La fibre du laser est amenée dans le canal jusqu'à la longueur de travail moins un millimètre sans actionner les tirs lasers. Les tirs sont actionnés lors du retrait de la fibre en direction coronaire en propulsant les irrigants dans les ramifications existantes. L'eau oxygénée est alors activée et devient blanchâtre avec l'apparition de bulles d'oxygène. Une fois la désinfection effectuée, l'obturation est réalisée par le chirurgien-dentiste.



Figure 12: Radiographie à cinq mois postopératoires sur 34 [43]

La radiographie de la 34 postopératoires après cinq mois montre une cicatrisation de la lésion apicale satisfaisante. Le laser a permis la désobturation et la désinfection lors du retraitement endodontique augmentant le succès thérapeutique de celui-ci.

3.4 Cas clinique d'un traitement endodontique combiné avec la thérapie photo-dynamique

Le troisième cas clinique s'intéresse à la thérapie photo dynamique (PDT). La patiente de 16 ans ne se plaint pas de douleurs. Lors de l'examen clinique, des petites fistules sont observées dans la zone proche des couronnes dentaires 11 et 12 qui présentent des composites sur la face distale de la 11 et mésiale de la 12 et qui sont infiltrés. Les tests de vitalités sont effectués et les résultats sont négatifs.



Figure 13: Photo initiale de 11 et 12 [20]

La radiographie rétro-alvéolaire centrée sur 11 et 12 montre une image de lésion péri-apicale à l'apex. À la suite de l'examen clinique et radiologique, le traitement endodontique est donc réalisé.



Figure 14: Radiographie rétro-alvéolaire de 11 et 12 [20]

La pose du champ opératoire est réalisée ainsi que la pulpotomie. Les canaux de 11 et 12 sont alors préparés et une irrigation à l'aide d'hypochlorite de sodium et D'EDTA est effectuée. Une fois cette étape réalisée, la thérapie photo dynamique est conduite. Le bleu de méthylène utilisé en tant que photosensibilisant est alors introduit dans chaque canal. Le chirurgien-dentiste laisse alors pendant cinq minutes l'agent photosensibilisant dans le canal avant d'introduire la fibre optique du laser diode. La fibre optique descend dans le canal jusqu'à deux millimètres en dessous de la longueur de travail et des mouvements hélicoïdaux sont effectués avec des mouvements de retrait entre l'apex et la couronne dentaire. La procédure est effectuée pour chaque dent à traiter. Une fois le traitement photo dynamique réalisée, le canal est irrigué une nouvelle fois à l'hypochlorite de sodium puis séché par des pointes papiers stériles. Le chirurgien-dentiste place ensuite dans le canal de l'hydroxyde de calcium en inter séance.

Le patient revient quinze jours après pour effectuer la deuxième séance. L'hydroxyde de sodium est retiré et une nouvelle séquence de thérapie photo dynamique est réalisée avec le même protocole que lors de la première séance. Une fois la séquence terminée, le chirurgien-dentiste effectue une nouvelle irrigation à l'hypochlorite de sodium qui est ensuite séché à l'aide de pointes papiers stériles. L'obturation peut alors être réalisé à l'aide de gutta-percha. A la fin de l'obturation, une radiographie rétro-alvéolaire est réalisée. Elle montre une bonne obturation des canaux et un début de cicatrisation osseuse dans la région concernée par la lésion.



Figure 15: Radiographie rétro-alvéolaire post obturation [20]

Une radiographie de contrôle est réalisée six mois après le traitement. Aucune douleur n'ont été observées par le patient après le traitement endodontique. La radiographie montre une très bonne cicatrisation osseuse au niveau des apex de 11 et 12 avec une nouvelle formation du tissu osseux et une restructuration des tissus périapicaux.

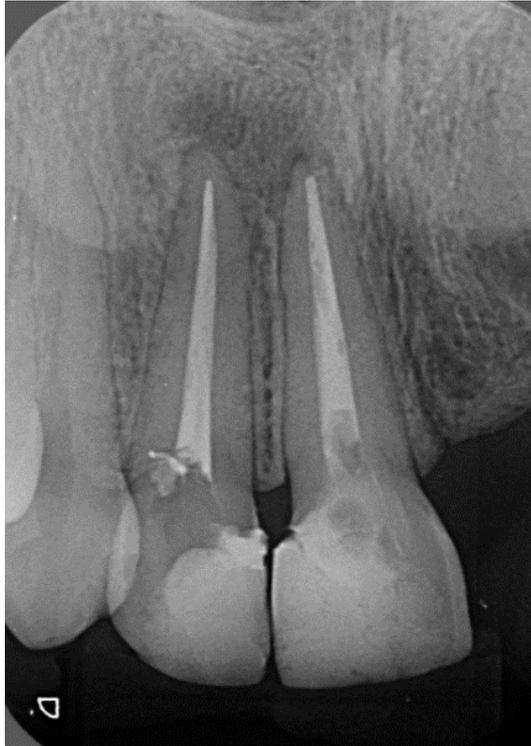


Figure 16: Radiographie de contrôle à six mois [20]

4. Introduction au gentlewave

4.1 Le gentlewave

4.1.1 Présentation du gentlewave

Le système canalaire possède une anatomie complexe où les bactéries, le biofilm et les tissus dentinaires ne sont pas toujours atteignables facilement par les moyens classiques utilisés en dentisterie. Les traitements conventionnels permettent de nettoyer le système radiculaire mais il y a un risque toujours présent de fracture, de perforations pouvant aller jusqu'à l'extraction de la dent traitées. Le Gentlewave est apparu sur le marché américain ces dernières années et permet le traitement du système canalaire tout en gardant l'intégrité tissulaire de celui-ci.



Figure 17: GentleWave [66]

En quelques chiffres, le Gentlewave provoque une dissolution tissulaire huit à dix fois plus rapides que les systèmes classiques d'ultrason et d'irrigation [24].

Le Gentlewave agit à l'aide d'une pression négative causant aucune extrusion en dehors de l'apex [23].

Lors de son utilisation, les dents sont préparées à minima et donc très peu instrumentées, ce qui respecte le gradient de conservation tissulaire moderne. C'est le résultat d'une dynamique des fluides, d'ondes sonores multi soniques qui permettent aux irrigants d'accéder aux zones les plus complexes comme le tiers apical, les isthmes, les tubulis dentinaires. L'unité du Gentlewave est composée d'une pièce à main stérile et un système de nettoyage qui comprend l'hypochlorite de sodium, l'EDTA ainsi que l'eau distillée inclus dans l'unité de traitement [55].

Une étude clinique montre que seulement trois pourcents des patients ont éprouvé une douleur modérée à la suite du traitement et donc 97% ont eu une réussite thérapeutique sans douleurs, 12 mois après le traitement [52].

4.1.2 Mécanisme d'action

Le système Gentlewave se compose d'une unité centrale avec une pièce à main à usage unique et stérile. La pièce à main délivre un flux de solutions comme l'hypochlorite ou EDTA dans la chambre pulpaire. Une fois le champ opératoire installé, et la cavité d'accès réalisée, on positionne la pièce à main. Celle-ci est alors scellée à la dent pour obtenir une étanchéité et éviter la perte d'énergie à l'aide de digue liquide par exemple.



Figure 18: Formation d'un joint étanche pour le Gentlewave

La pointe de la pièce à main est alors dans la chambre pulpaire. Un flux de fluide entrant interagit avec les fluides déjà présents dans la chambre pulpaire ce qui provoque une force de cisaillement qui entraîne alors la formation d'un nuage de cavitations et d'ondes sonores multi soniques. C'est l'implosion continue de milliers de bulles de cavitation qui génère un flux acoustique qui se propage à travers les fluides dans la totalité du système canalaire. La pièce à main délivre en premier de l'hypochlorite de sodium puis de l'EDTA avec un rinçage à l'eau entre les deux. La pointe de la pièce à main est conçue pour dévier le flux des fluides afin de se diriger vers les entrées canalaire. Le flux est tourbillonnant et induit une pression négative dans le canal. L'excès de fluide est évacué par l'aspiration intégrée dans la pièce à main. L'Energie du fluide se dissipe lorsque celui-ci se dirige en direction apical ainsi que son effet tourbillonnant. Le fluide est alors dégazé pour minimiser la perte d'énergie et que ce soit bien l'ensemble du système radiculaire qui soit traité.



Figure 19: Effet du Gentlewave dans le système endodontique[67]

La procédure du Gentlewave dure entre six et huit minutes. Cette procédure permet d'éliminer le tissu pulpaire, les bactéries du système canalaire principale et accessoire mais aussi de nettoyer les isthmes, retirer les instruments tels que les limes fracturées dans un canal.

L'utilisation du Gentlewave est cependant contre indiquée pour les dents immatures, les dents avec une structure coronaire insuffisante au bon positionnement de la pièce à main ainsi que les dents présentant des racines en communication avec le sinus maxillaire.

4.2 Les Intérêts cliniques du Gentlewave

4.2.1 Cas de traitement endodontique

Le Gentlewave est utilisé dans le cas de traitement endodontique. La cause récurrente des échecs en endodontie est la présence des bactéries dans le système canalaire. Les techniques classiques en endodontie comme la préparation canalaire, l'utilisation d'irrigation comme l'hypochlorite de sodium ou l'eau distillée diminuent la quantité de biofilm dans le système radiculaire. Cependant, la totalité du biofilm microbien est difficile à éradiquer totalement et que certains biofilms plus matures résistent aux traitements antimicrobiens. Une étude a été réalisée sur des biofilms immatures de trois jours sur des dents uni radiculaires. Le Gentlewave désinfecte de façon plus efficace au niveau de l'apex et de l'isthme que l'activation passive par ultrasons [11].

Une étude a été effectuée avec le Gentlewave sur son succès thérapeutique six mois après le traitement. Sur 75 patients, 97,4 % ont obtenu une guérison totale, six mois après le traitement quand les résultats de succès thérapeutiques par les systèmes classiques sont entre 70 et 90%. L'augmentation de la rapidité de guérison est aussi évaluée par rapport au système classique d'activation par ultrasons. Cela s'explique par l'augmentation de la destruction bactérienne, du biofilm et de l'évacuation accrue des débris dentinaires. Le Gentlewave agit aussi sur les douleurs post-opératoires. Les causes des douleurs post-opératoires sont multiples. Elles sont dues par exemple à l'extrusion des bactéries du système canalaire dans la région péri-apical, ou l'extrusion d'instruments ou de solutions d'irrigations au-delà de l'apex. La pression négative exercée par le Gentlewave au niveau de l'apex empêche l'extrusion des bactéries et des systèmes d'irrigation[10]. Le Gentlewave permet ainsi de réduire de manière importante les douleurs post-opératoires après le traitement endodontique[53].

Bien souvent lors d'un traitement endodontique, le chirurgien-dentiste utilise de l'hydroxyde de calcium dans la chambre pulpaire en inter séance. Il est important pour assurer le succès thérapeutiques et l'obturation canalaire de retirer cet hydroxyde de calcium. Les recherches montrent qu'il reste entre 25 et 45% d'hydroxyde de calcium après passage des limes et systèmes d'irrigation sur les parois radiculaires lors du rendez-vous suivant[29].

Le Gentlewave retire quant à lui la quasi-totalité de l'hydroxyde de calcium d'inter-séance allant jusqu'à 99,97% d'élimination sans utiliser d'instrument en une minute et trente secondes approximativement [33].

Les recherches sont encore peu nombreuses et nécessitent encore un approfondissement de cette technologie mais semblent prometteuses pour l'efficacité du Gentlewave pour le traitement endodontique. Pour l'heure, les études sont essentiellement financées par la société qui commercialise le Gentlewave. Des études sont à mener de manière plus indépendante afin d'avoir le recul nécessaire pour juger l'efficacité du Gentlewave.

4.2.2 Cas de retraitement endodontique

Dans le cadre du retraitement endodontique, le but est d'éliminer les précédents matériaux d'obturation afin d'effectuer le nettoyage, la mise en forme et obturer à nouveau les canaux lorsque le traitement initial apparaît inadéquat ou a échoué. Une étude permet de comparer l'efficacité du Gentlewave, du système EndoVac et de l'utilisation d'aiguille à ouverture latérale pour les systèmes d'irrigation pour retirer les matériaux d'obturation comme la gutta percha et le ciment présent dans le canal. L'étude est réalisée sur trente molaires mandibulaires récemment extraites et qui sont obturées avec du ciment.

Les résultats montrent une aptitude plus importante du GentleWave pour désobturer les canaux en comparaison à l'Endovac ou l'aiguille à ouverture latérale. L'étude montre cependant que ces techniques d'irrigation ne permettent pas de retirer la totalité de l'obturation présente. L'avantage du GentleWave réside dans sa faculté à retirer les débris dentinaires et de désinfecter malgré la présence de matériaux d'obturation [62][12].

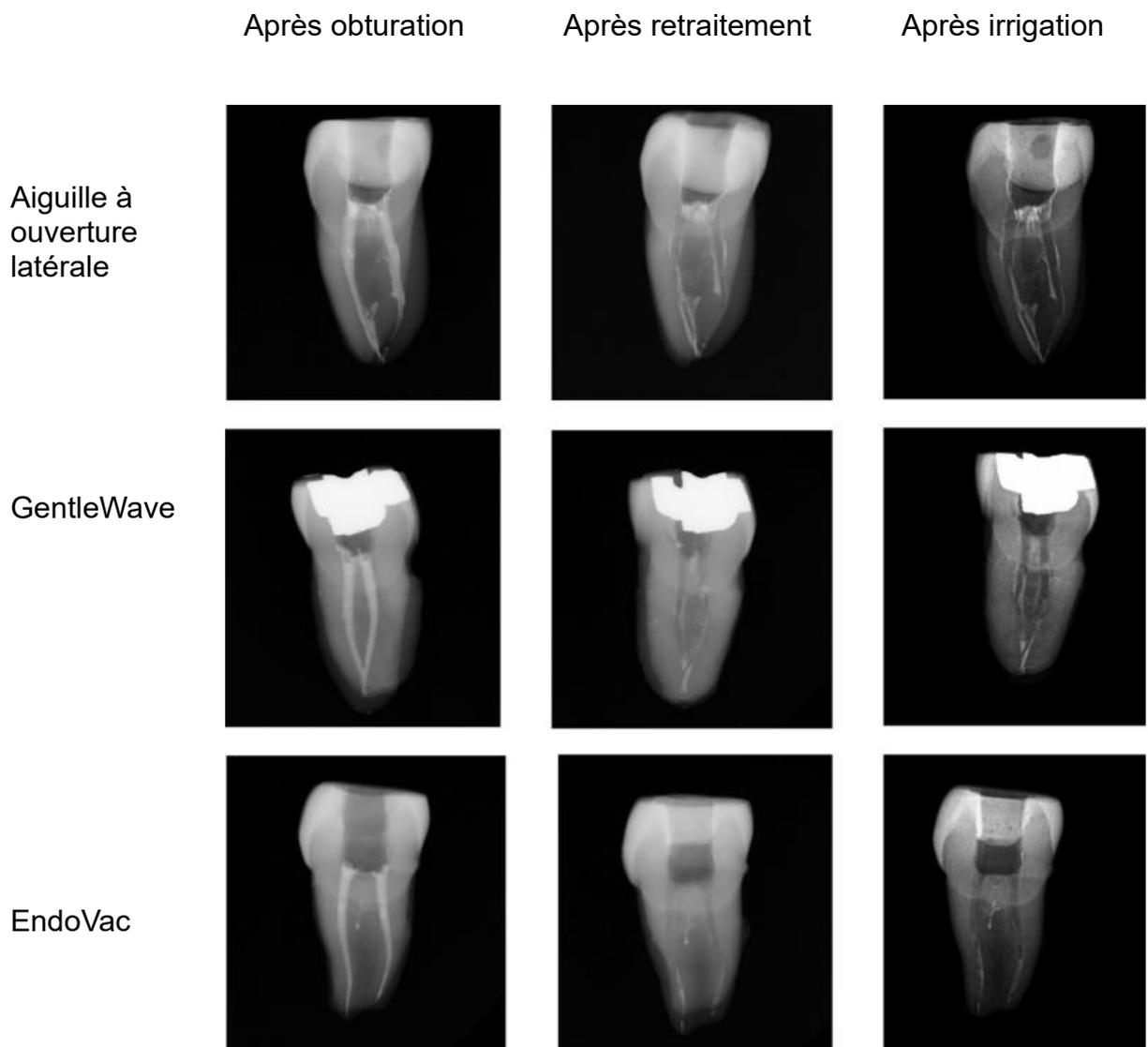


Figure 20: Image comparative après obturation, retraitement et irrigation par aiguille à ouverture latérale, GentleWave et EndoVac [62]

4.2.3 Cas de fracture d'un instrument dans un canal

La fracture instrumentale est un problème récurrent en endodontie non négligeable à cause des complications qui en résultent. Des expériences réalisées in vitro démontrent que le Gentlewave est capable de retirer des limes fracturées dans les canaux radiculaires. Une trentaine de molaires extraites sont étudiées avec une fracture instrumentale présente au niveau du tiers apical et dans la partie médiane. Lors des cas de fracture de limes, le Gentlewave présente un succès pour retirer les limes de 83% dans la partie médiane et 61% dans la partie apicale. De plus, lorsque l'angulation canalaire est inférieure à 30°, c'est 91% des limes qui sont retirées. Cette procédure du Gentlewave est réalisée sans élargissement au préalable du canal radiculaire et sans utilisation d'ultrasons.

L'autre avantage dans ces cas de fracture instrumentale est que le Gentlewave permet dans le cas où la lime n'est pas retirée de nettoyer autour de cette lime et donc de désinfecter et terminer son retraitement endodontique dans les meilleures conditions possibles.

D'autres études sont nécessaires mais les résultats sont prometteurs dans ces cas de fractures instrumentales.



Figure 21: Retrait d'un instrument fracturé à l'aide du GentleWave[68]

5. Conclusion

Depuis une vingtaine d'année, le chirurgien-dentiste dispose d'une nouvelle technologie en endodontie : le laser. Son évolution a permis une avancée dans les procédures de traitement endodontique. Les fibres optiques des lasers, les lasers diodes ou Erbium ou encore le Gentlewave plus récemment ont permis une simplification et une amélioration des processus de décontamination canalaire, une utilisation plus aisée pour chirurgien-dentiste, tout en minimisant les risques pour les parois dentinaires notamment dus aux effets thermiques. Les lasers sont un excellent complément aux techniques classiques utilisées en endodontie. Les lasers couplés aux solutions d'irrigation permettent une décontamination accrue et non négligeable pour le chirurgien-dentiste, en augmentant par conséquent le succès thérapeutique en endodontie.

Néanmoins des recherches sont encore nécessaires afin d'augmenter leurs efficacités, de réduire encore les dommages iatrogènes, ou bien d'associer différentes techniques pour optimiser encore plus leurs utilisations pour le chirurgien-dentiste. De nouvelles technologies comme le Gentlewave simplifie la désinfection et augmente le succès thérapeutique. Le Gentlewave permet une désinfection efficace avec un minimum de préparation tissulaire qui s'inscrit dans le gradient de préservation tissulaire à minima. Il s'agit d'une nouvelle technologie prometteuse qui nécessite encore des recherches cliniques approfondies.

Références bibliographiques

1. Alexandrite E Monochromaticité, Bohr, Maiman, Louis de Broglie, Watt, Planck, Erbium:YAG imp. LASER ? Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation [Internet]. Disponible sur: <https://slideplayer.fr/slide/14085654/>
2. Amaechi BT. Emerging technologies for diagnosis of dental caries: The road so far. *Journal of Applied Physics*. American Institute of Physics; 2009;105(10):102047.
3. Auvray S, Bernier J-C, Engel T. Chimie et lumière Ed. 1 [Internet]. EDP Sciences; 2021 [cité 5 oct 2021]. Disponible sur: <https://univ-scholarvox-com.ressources-electroniques.univ-lille.fr/book/88908700>
4. Bachmann A, Ruzsat R. The KTP-(greenlight-) laser—principles and experiences. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*. Taylor & Francis Ltd; 2007;16(1):5-10.
5. Bahrololoomi Z, Musavi SA, Kabudan M. In vitro evaluation of the efficacy of laser fluorescence (DIAGNOdent) to detect demineralization and remineralization of smooth enamel lesions. *J Conserv Dent*. 2013;16(4):362-6.
6. Bastogne T, Tirand L, Barberi-Heyob M, Richard A. Modélisation système de la thérapie photodynamique. Conférence Internationale Francophone d'Automatique. Bordeaux France; 2006. p. 1-7.
7. Benedicenti S, Cassanelli C, Signore A, Ravera G, Angiero F. Decontamination of root canals with the gallium-aluminum-arsenide Laser: An *in vitro* study. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2008;26(4):367-70.
8. Blanken J, De Moor RJG, Meire M, Verdaasdonk R. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 1: A visualization study: Efficacy and visualization of laser activated irrigation. *Lasers Surg Med*. 2009;41(7):514-9.
9. Boulanger B, Guellati - Khélifa S, Hennequin D. La lumière en lumière. 1^{re} éd. France: EDP Sciences; 2016.
10. Charara K, Friedman S, Sherman A, Kishen A, Malkhassian G, Khakpour M, et al. Assessment of apical extrusion during root canal irrigation with the novel gentlewave system in a simulated apical environment. *Journal of Endodontics*. 2016;42(1):135-9.
11. Choi HW, Park SY, Kang MK, Shon WJ. Comparative analysis of biofilm removal efficacy by multisonic ultracleaning system and passive ultrasonic activation. *Materials (Basel)*. 2019;12(21):3492.
12. Crozeta BM, Chaves de Souza L, Correa Silva-Sousa YT, Sousa-Neto MD, Jaramillo DE, Silva RM. Evaluation of passive ultrasonic irrigation and gentlewave system as adjuvants in endodontic retreatment. *Journal of Endodontics*. 2020;46(9):1279-85.

13. Deiber A, Kempf O. Cavité acoustique, LASER et... système bouclé. 1997;91:21.
14. Dilouya DV. Intérêt et indications différentielles du laser CO₂ en odontostomatologie. *Actual Odonto-Stomatol.* sept 2015;(272):23-32.
15. Divito E. Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. *Basic research.* 2011;37:1008-112.
16. DiVito E, Peters O, Olivi G. Effectiveness of the erbium: YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers in medical science.* 2010;27:273-80.
17. DiVito EE. The photoacoustic efficacy of an Er:YAG laser with radial and stripped tips on root canal dentin walls: An SEM evaluation. 2011;19(1):6.
18. El Bousaadani A, Eljahd L, Abada R, Rouadi S, Roubal M, Mahtar M. Actualités de la prévention et du traitement des mucites orales chez les enfants cancéreux : recommandations pratiques. *Cancer/Radiothérapie.* 2016;20(3):226-30.
19. Fan KFM, Hopper C, Speight PM, Buonaccorsi GA, Bown SG. Photodynamic therapy using mTHPC for malignant disease in the oral cavity. *International Journal of Cancer.* 1997;73(1):25-32.
20. Firmino RT, Brandt LMT, Ribeiro GL, dos Santos KSA, Catão MHC de V, Gomes DQ de C. Endodontic treatment associated with photodynamic therapy: Case report. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy.* 2016;15:105-8.
21. Fleming MG, Maillet WA. Photopolymerization of composite resin using the argon laser. 1999;65(8):4.
22. Gutknecht N, Conrads G, Apel C, Schubert C, Lampert F. Effect of diode laser radiation in root canal wall dentine: a microbiological study. *Lasers in Dentistry VI* [Internet]. SPIE; 2000 [cité 18 janv 2022]. p. 124-7. Disponible sur: <https://www.spiedigitallibrary-org.ressources-electroniques.univ-lille.fr/conference-proceedings-of-spie/3910/0000/Effect-of-diode-laser-radiation-in-root-canal-wall-dentine/10.1117/12.380819.full>
23. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Park E, Curtis A, Patel P, et al. Apical pressure created during irrigation with the GentlewaveTM system compared to conventional syringe irrigation. *Clin Oral Invest.* 2016;20(7):1525-34.
24. Haapasalo M, Wang Z, Shen Y, Curtis A, Patel P, Khakpour M. Tissue dissolution by a novel multisonic ultracleaning system and sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics.* 2014;40(8):1178-81.
25. Ishikawa I, Aoki A, Takasaki AA. Potential applications of Erbium:YAG laser in periodontics. *J Periodontal Res.* 2004;39(4):275-85.
26. Kinoshita J-I, Jafarzadeh H, Manabe A, Nozawa M, Uchida T, Abbott PV. Effects of KTP laser bleaching on traumatized tooth enamel. *Trauma Mon.* 2014;19(2):e18168.
27. Klim JD, Rosa S. Diode laser gingival recontouring. 2000;8(4):9.

28. Konopka K, Goslinski T. Photodynamic therapy in dentistry. *J Dent Res*. SAGE Publications Inc; 2007;86(8):694-707.
29. Lambrianidis T, Margelos J, Beltes P. Removal efficiency of calcium hydroxide dressing from the root canal. *Journal of Endodontics*. 1999;25(2):85-8.
30. Lazare S, Granier V. Ultraviolet laser photoablation of polymers: A review and recent results. 1989;10:25-40.
31. Lee MT, Bird PS, Walsh LJ. Photo-activated disinfection of the root canal: a new role for lasers in endodontics. *Australian Endodontic Journal*. 2004;30(3):93-8.
32. Lussi A, Hibst R, Paulus R. Diagnodent: an optical method for caries detection. *J Dent Res*. SAGE Publications Inc; 2004;83(1):80-3.
33. Ma J, Shen Y, Yang Y, Gao Y, Wan P, Gan Y, et al. In vitro study of calcium hydroxide removal from mandibular molar root canals. *Journal of Endodontics*. 2015;41(4):553-8.
34. Macedo RG, Wesselink PR, Zaccheo F, Fanali D, Van Der Sluis LWM. Reaction rate of NaOCl in contact with bovine dentine: effect of activation, exposure time, concentration and pH: Reaction rate of NaOCl with dentine. *International Endodontic Journal*. 2010;43(12):1108-15.
35. Mareschi S. Traitement canalaire atypique et laser erbium. *Dentoscope*. 130:34-42.
36. Mendes FM, Siqueira WL, Mazzitelli JF, Pinheiro SL, Bengtson AL. Performance of diagnodent for detection and quantification of smooth-surface caries in primary teeth. *Journal of Dentistry*. 2005;33(1):79-84.
37. Mordon S. Applications médicales du laser. *Reflète phys*. 2010;(21):65-9.
38. Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, Sperr W. Advantages of a pulsed CO2 laser in direct pulp capping: A long-term in vivo study. 1998;22:288-93.
39. Olivi G. Laser use in endodontics: evolution from direct laser irradiation to laser-activated irrigation. *Scientific review*. 2013;21(2):14.
40. O'Neill JF, Hope CK, Wilson M. Oral bacteria in multi-species biofilms can be killed by red light in the presence of toluidine blue. *Lasers in surgery and medicine*. 2002;31(2):86-90.
41. Orstavik D, Haapasalo M. Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Dent Traumatol*. 1990;6(4):142-9.
42. Para A. Illustration des effets laser diode et Nd-YAG en endodontie et en chirurgie. *Actual Odonto-Stomatol*. 2015;(272):15-22.
43. Para A. Illustration des effets laser diode et Nd-YAG en endodontie et en chirurgie. *Actual Odonto-Stomatol*. 2015;(272):15-22.
44. Pourreau-Schneider N, Ahmed A, Soudry M, Jacquemier J, Kopp F, Franquin JC, et al. Helium-neon laser treatment transforms fibroblasts into myofibroblasts. *Am J Pathol*. juill 1990;137(1):171-8.

45. Res JD, Featherstone JDB, Barrett-vespone NA, Fried D, Kantorowitz Z, Seka W. CO2 laser inhibition of artificial caries-like lesion progression in dental enamel. 1998;77(6):1397-403.
46. Rinaldi F. Laser: a review. *Clinics in Dermatology*. 2008;26(6):590-601.
47. Sarig-Nadir O, Livnat N, Zajdman R, Shoham S, Seliktar D. La photoablation au laser de microcanaux de guidage en hydrogels dirige la croissance cellulaire en trois dimensions. 2009;96(11):4743-52.
48. Schoop U, Kluger W, Dervisbegovic S, Goharkhay K, Wernisch J, Georgopoulos A, et al. Innovative wavelengths in endodontic treatment. *Lasers in Surgery and Medicine*. 2006;38(6):624-30.
49. Schoop U, Kluger W, Moritz A, Nedjelic N, Georgopoulos A, Sperr W. Bactericidal effect of different laser systems in the deep layers of dentin. *Lasers Surg Med*. 2004;35(2):111-6.
50. Schwob C, Julien L. Le laser : principe de fonctionnement. *Reflets phys*. 2010;(21):12-6.
51. Shah M, Foreman D, Ferguson M. Neutralisation of TGF- β 1 and TGF- β 2 or exogenous addition of TGF- β 3 to cutaneous rat wounds reduces scarring. *Journal of cell science*. 1995;108:985-1002.
52. Sigurdsson A, Garland RW, Le KT, Woo SM. 12-month healing rates after endodontic therapy using the novel gentlewave system: a prospective multicenter clinical study. *Journal of Endodontics*. 2016;42(7):1040-8.
53. Sigurdsson A, Le KT, Woo SM, Rassouljian SA, McLachlan K, Abbassi F, et al. Six-month healing success rates after endodontic treatment using the novel Gentlewave™ system: The pure prospective multi-center clinical study. *J Clin Exp Dent*. 2016;8(3):290-8.
54. Sirtes G, Waltimo T, Schätzle M, Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *Journal of endodontics*. 2005;31:669-71.
55. Vandrangi P. Evaluating penetration depth of treatment fluids into dentinal tubules using the gentlewave system. *Dentistry*. 2016;06(03):1-5.
56. Walsh LJ. The current status of low level laser therapy in dentistry, Part 1. Soft tissue applications. *Australian Dental Journal*. 1997;42(4):247-54.
57. Walsh LJ. The current status of laser applications in dentistry. *Australian Dental Journal*. 2003;48(3):146-55.
58. Wang Q, Zhang C, Yin X. Evaluation of the bactericidal effect of Er,Cr:YSGG, and Nd:YAG lasers in experimentally infected root canals. *Journal of Endodontics*. 2007;33(7):830-2.
59. Watanabe K, Murata M, Nagamori T, Yamaguchi T, Yoshie H. Effects of CO2 laser treatment combined with scaling and root planing on periodontal pockets in chronic periodontitis patients. *Nihon Shishubyo Gakkai Kaishi*. 2007;49(2):130-8.

60. Watanabe S, Saegusa H, Anjo T, Ebihara A, Kobayashi C, Suda H. Dentin strain induced by laser irradiation. *Australian Endodontic Journal*. 2010;36(2):74-8.
61. Wolbarsht M. Laser surgery: CO₂ or HF. *IEEE Journal of Quantum Electronics*. 1984;20(12):1427-32.
62. Wright CR, Glickman GN, Jalali P, Umorin M. Effectiveness of gutta-percha/sealer removal during retreatment of extracted human molars using the gentlewave system. *Journal of Endodontics*. 2019;45(6):808-12.
63. Yusufoglu Sİ, Keskin NB, Saricam E, Bozkurt DA. Comparison of apical debris extrusion using EDDY, passive ultrasonic activation and photon-initiated photoacoustic streaming irrigation activation devices. *Australian Endodontic Journal*. 2020;46(3):400-4.
64. Le LASER [Internet]. La Science Pour Tous. 2008. Disponible sur: <https://lasciencepourtous.cafe-sciences.org/articles/lelaser/>
65. Spectre du rayonnement électromagnétique [Internet]. ResearchGate. Disponible sur: https://www.researchgate.net/figure/Spectre-du-rayonnement-electromagnetique_fig4_330385376
66. FAQ: GentleWave System from Sonendo [Internet]. *Decisions in Dentistry*. [cité 7 avr 2022]. Disponible sur: <https://decisionsindentistry.com/article/faq-gentlewave-system-sonendo/>
67. Root canal innovation with gentlewave [Internet]. [cité 7 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.sarasotaendodontist.com/blog/root-canal-innovation-with-gentlewave/>
68. Innovations in endodontic cleaning and disinfection [Internet]. *Decisions in Dentistry*. [cité 8 mars 2022]. Disponible sur: <https://decisionsindentistry.com/article/innovations-endodontic-cleaning-disinfection/>

Table des illustrations

Figures :

Figure 1 : Spectre électromagnétique [65].....	14
Figure 2: Schéma de principe d'un laser[64].....	15
Figure 3: Phénomènes lors de l'interaction du laser avec la peau [1].....	17
Figure 4: Interface du laser diode(Source : Dr Linez).....	18
Figure 5: Ecran tactile du laser diode [Image fournie par le Dr Linez].....	27
Figure 6: Laser erbium YSGG [image fournie par le Dr Linez].....	31
Figure 7: Etat initial 11 et 21 [35].....	39
Figure 8: Radiographie du Cône de Gutta dans la fistule [35]	40
Figure 9: Radiographie de contrôle après l'obturation[35]	41
Figure 10: Radiographie de contrôle à deux mois [35].....	41
Figure 11 : Radiographie rétroalvéolaires de 35 montrant la présence de deux racines [43]	42
Figure 12: Radiographie à cinq mois postopératoires sur 34 [43]	43
Figure 13: Photo initiale de 11 et 12 [20].....	44
Figure 14: Radiographie rétro-alvéolaire de 11 et 12 [20].....	44
Figure 15: Radiographie rétro-alvéolaire post obturation [20]	45
Figure 16: Radiographie de contrôle à six mois [20].....	46
Figure 17: GentleWave [66]	47
Figure 18: Formation d'un joint étanche pour le Gentlewave	48
Figure 19: Effet du Gentlewave dans le système endodontique[67]	49
Figure 20: Image comparative après obturation, retraitement et irrigation par aiguille à ouverture latérale, GentleWave et EndoVac [62]	52
Figure 21: Retrait d'un instrument fracturé à l'aide du GentleWave[68]	53

Table des tableaux

Tableaux :

Tableau 1 Lasers et longueurs d'onde associées [source personnelle] :	22
Tableau 2: Effets des différents lasers en endodontie [39] :	33

Domaines : Dentisterie restauratrice, Endodontie

Mots Clés Libres : Endodontie, Laser Erbium, Laser Diode, GentleWave

Mots clés Rameau :

Mots clés FMeSH :

Le laser en endodontie est devenu au cours de ces dernières années, un outil indispensable à la pratique du chirurgien-dentiste. Le laser erbium ou encore le laser diode notamment permettent d'augmenter le succès thérapeutique via leurs effets thermiques, chimiques, mécaniques. L'interaction avec les irrigants tels que l'hypochlorite de sodium, l'eau distillée ou l'EDTA augmente l'efficacité de décontamination et de stérilisation des canaux. Le laser fonctionne aussi bien lors du traitement endodontique classique, du retraitement endodontique ou lors d'une fracture instrumentale intra-canaulaire. Le laser est utilisé dans toutes les étapes du traitement endodontique. En effet, il est utilisé pour le curetage carieux, la pulpotomie, la préparation des entrées canalaires, la désinfection canalaire, l'obturation des canaux.

Des recherches sont encore menées afin de potentialiser leurs actions et de diminuer les risques d'utilisation pour le chirurgien-dentiste. Le Gentlewave est une nouvelle technologie prometteuse qui permet une désinfection tissulaire efficace avec un minimum de préparation tissulaire mais nécessitant encore des recherches approfondies.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Assesseurs : Monsieur le Docteur Marc LINEZ
Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT
Monsieur le Docteur Henri PERSON

Membre invité : Monsieur le Docteur Alexandre GRENET