

Année : 2013

N° : 016

# **APPLICATIONS CLINIQUES DES LASERS EN ENDODONTIE**

THÈSE POUR LE DIPLOME D'ÉTAT DE  
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

*présentée  
et soutenue publiquement par*

**BRILLANT Matthias**

**Né le 4 février 1987 à Fontenay-le-Comte**

*le jeudi 11 juillet devant le jury ci-dessous*

<i>Président</i>	Monsieur le Professeur Alain JEAN
<i>Assesseur</i>	Monsieur le Docteur Dominique MARION
<i>Assesseur</i>	Madame le Docteur Valérie ARMENGOL, <i>Directeur de thèse</i>
<i>Assesseur</i>	Madame le Docteur Bénédicte CASTELOT-ENKEL

<b>UNIVERSITÉ DE NANTES</b>	
<b>Président</b>	Pr. Olivier LABOUX
<b>FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE</b>	
<b>Doyen</b>	Pr. Yves AMOURIQ
<b>Assesseurs</b>	Dr. Stéphane RENAUDIN Pr. Assem SOUEIDAN Pr. Pierre WEISS
<b>Professeurs des Universités Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.</b>	
Monsieur AMOURIQ Yves Madame ALLIOT-LICHT Brigitte Monsieur GIUMELLI Bernard Monsieur JEAN Alain	Monsieur LESCLOUS Philippe Madame PEREZ Fabienne Monsieur SOUEIDAN Assem Monsieur WEISS Pierre
<b>Professeurs des Universités</b>	
Monsieur BOHNE Wolf ( <i>Professeur Emérite</i> )	Monsieur BOULER Jean-Michel
<b>Praticiens Hospitaliers</b>	
Madame DUPAS Cécile	Madame LEROUXEL Emmanuelle
<b>Maîtres de Conférences Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.</b>	<b>Assistants hospitaliers universitaires des C.S.E.R.D.</b>
Monsieur AMADOR DEL VALLE Gilles Madame ARMENGOL Valérie Monsieur BODIC François Madame DAJEAN-TRUTAUD Sylvie Monsieur DENIAUD Joël Madame ENKEL Bénédicte Monsieur GAUDIN Alexis Monsieur HOORNAERT Alain Madame HOUCHMAND-CUNY Madline Monsieur KIMAKHE Saïd Monsieur LAGARDE André Monsieur LE BARS Pierre Monsieur LE GUEHENNEC Laurent Madame LOPEZ-CAZAUX Séréna Monsieur MARION Dominique Monsieur NIVET Marc-Henri Monsieur RENAUDIN Stéphane Madame ROY Elisabeth Monsieur STRUILLLOU Xavier Monsieur UNGER François Monsieur VERNER Christian	Monsieur BADRAN Zahi Madame BERTHOU STRUBE Sophie Madame BORIES Céline Monsieur CAMPARD Guillaume Madame DAZEL LABOUR Sophie Monsieur DEUMIER Laurent Monsieur FREUCHET Erwan Monsieur FRUCHET Aurélien Madame GOAEMAERE GALIERE Hélène Monsieur LANOISELEE Edouard Madame MALTHIERY Eve Monsieur MARGOTTIN Christophe Madame MERAMETDJIAN Laure Madame ODIER Amélie Monsieur PAISANT Guillaume Madame RICHARD Catherine Monsieur ROLOT Morgan Monsieur TOURE Amadou (Assistant associé)

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

## **REMERCIEMENTS**

**A Monsieur le Professeur Alain JEAN**

Professeur des universités

Praticien hospitalier des Centres de soins d'enseignement et de recherche dentaires

Docteur de l'université de Nantes

Habilité à diriger des recherches

Chef du département de Sciences anatomiques et physiologiques, occlusodontiques, biomatériaux, biophysique, radiologie.

-NANTES-

*Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider mon jury de thèse.*

*Pour l'attention que vous avez portée à sa correction.*

*Pour la qualité de votre enseignement.*

*Veillez trouver ici l'expression de mon entière gratitude et de mon profond respect.*

**A Madame le Docteur Valérie ARMENGOL**

Maître de conférences des universités

Praticien hospitalier des Centres de soins d'enseignement et de recherche dentaires

Docteur de l'université de Nantes

Département d'Odontologie conservatrice - Endodontie

-NANTES-

*Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de diriger ma thèse.*

*Pour m'avoir proposé ce sujet.*

*Pour vos conseils, vos corrections et votre aide indispensables tout au long de ce travail.*

*Pour votre implication importante, votre grande disponibilité et votre gentillesse.*

*Pour tout ce que vous m'avez appris tout au long de mes études.*

*Pour la qualité de votre enseignement et la passion avec laquelle vous transmettez votre savoir.*

*Veillez trouver ici l'expression de mon entière gratitude et de mon profond respect.*

**A Monsieur le Docteur Dominique MARION**

Maître de conférences des universités

Praticien hospitalier des Centres de soins d'enseignement et de recherche dentaires

Chef du département d'Odontologie conservatrice – Endodontie

-NANTES-

*Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie de mon jury de thèse.*

*Pour l'attention que vous avez portée à sa correction.*

*Pour la qualité de votre enseignement .*

*Veillez trouver ici l'expression de mon entière gratitude et de mon profond respect.*

**A Madame le Docteur Bénédicte CASTELOT-ENKEL**

Maître de conférences des universités

Praticien hospitalier des Centres de soins d'enseignement et de recherche dentaires

Département d'Odontologie conservatrice – Endodontie

-NANTES-

*Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie de mon jury de thèse.*

*Pour l'attention que vous avez portée à sa correction.*

*Pour la qualité de votre enseignement .*

*Veillez trouver ici l'expression de mon entière gratitude et de mon profond respect.*



## SOMMAIRE :

INTRODUCTION.....	11
I Généralités.....	12
I1 Le traitement endodontique.....	12
I2 Les lasers.....	12
I21 Fonctionnement d'un laser.....	12
I211 Interactions entre photons et matière.....	12
I212 Composition d'un laser.....	13
I213 Propriétés de la lumière laser.....	14
I214 Caractéristiques énergétiques du faisceau laser.....	14
I215 Interactions du faisceau laser avec la matière.....	15
I22 Principaux lasers utilisés en endodontie.....	16
I221 Le laser Nd:YAG.....	16
I222 Le laser Er:YAG.....	17
I223 Le laser Er, Cr:YSGG.....	18
I224 Le laser diode.....	19
I3 Législation , risques et précautions au cabinet dentaire.....	20
II Analyse critique de la littérature.....	22
II1 Sélection d'articles.....	22
II2 Apports des lasers dans le traitement endodontique.....	24
II21 Préparation canalair.....	24
II22 Modifications des surfaces, conséquences histologiques.....	27
II23 Action bactéricide.....	30
II24 Irrigation activée par le laser.....	32
II25 Désinfection photoactive.....	33
III Synthèse.....	36
CONCLUSION.....	37
Références bibliographiques.....	38
Table des illustrations.....	46

## INTRODUCTION

Les lasers présentent de multiples applications en médecine, notamment en ophtalmologie et en dermatologie. Les premières recherches sur le laser en odontologie datent de 1964.

Récemment, de nombreuses publications abordent le sujet de l'utilité du laser dans le domaine de l'endodontie, allant du diagnostic pulpaire à l'obturation canalair.

Certaines techniques sont déjà appliquées couramment, tandis que d'autres ne font pour l'instant l'objet que de recherches.

Après avoir rappelé les objectifs du traitement endodontique et le fonctionnement d'un laser, puis détaillé la législation, nous allons présenter les différents lasers et techniques utilisés en endodontie.

Le traitement du canal par le laser peut-il remplacer certaines techniques conventionnelles en endodontie ? Ou ne restera-t-il qu'une thérapeutique adjuvante au traitement endodontique ?

Ce sont les questions auxquelles nous allons tenter de répondre, en analysant les articles publiés sur le sujet depuis 2007.

## I Généralités

### I1 Le traitement endodontique (55, 62)

Le traitement endodontique consiste en l'exérèse de tout ou partie de la pulpe ou ce qu'il en reste, visant à remplacer celle-ci dans une cavité endodontique « stérile » ou assainie, par une obturation étanche favorisant la cicatrisation (Hamel 1984).

Les objectifs sont donc :

- La suppression de tout le contenu canalaire et de son potentiel pathogène,
- La mise en forme conique et régulière de l'entrée canalaire jusqu'à l'apex,
- Le nettoyage et la désinfection du système canalaire,
- La mise en place d'un matériau d'obturation étanche à vocation cicatricielle,
- La cicatrisation et le maintien des résultats dans le temps par la prévention des manifestations infectieuses locales ou à distance,
- La restauration fonctionnelle de la dent.

### I2 Les lasers

#### I21 Fonctionnement d'un laser (4)

##### I211 Interactions entre photons et matière

Il existe trois types de réactions lors d'une interaction entre un photon et un atome : l'absorption, l'émission spontanée et l'émission stimulée.

Lors de l'absorption d'un photon par un atome, un des électrons de celui-ci atteint le niveau d'énergie supérieur. L'atome est alors dans un état dit excité, instable.

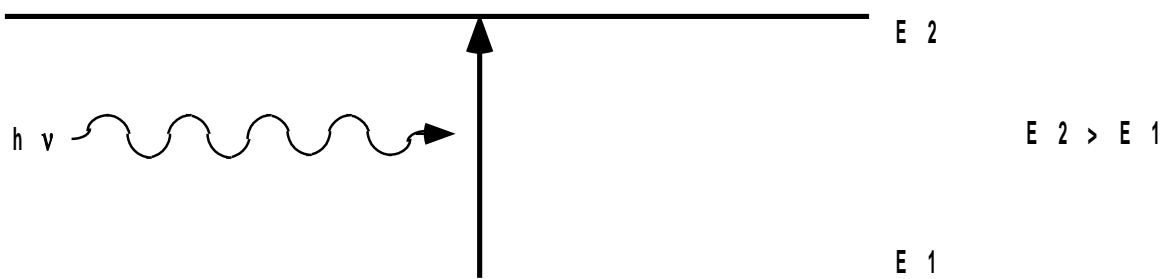


Figure n°1 : L'absorption.

Lorsqu'un atome excité retourne à un état plus stable, l'électron passe d'un haut niveau d'énergie à un niveau plus bas, et il y a alors une émission spontanée d'un photon par l'atome.

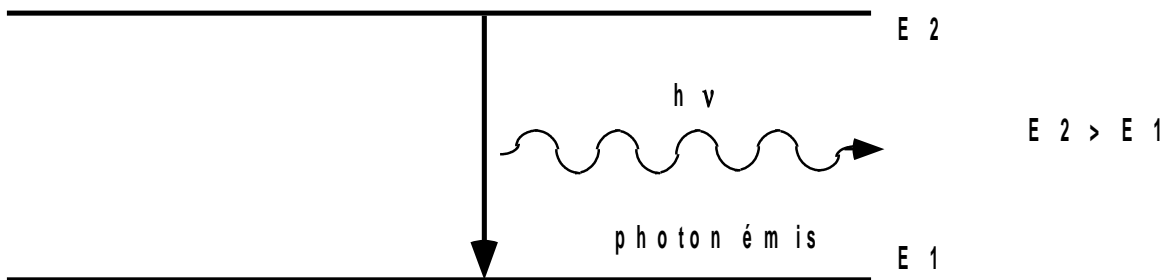


Figure n°2 : L'émission spontanée.

Le photon produit peut rencontrer un autre atome excité et stimuler son retour à l'état fondamental. C'est l'émission stimulée, deux photons sont alors libérés, ayant la même phase, la même direction, le même sens et la même énergie.

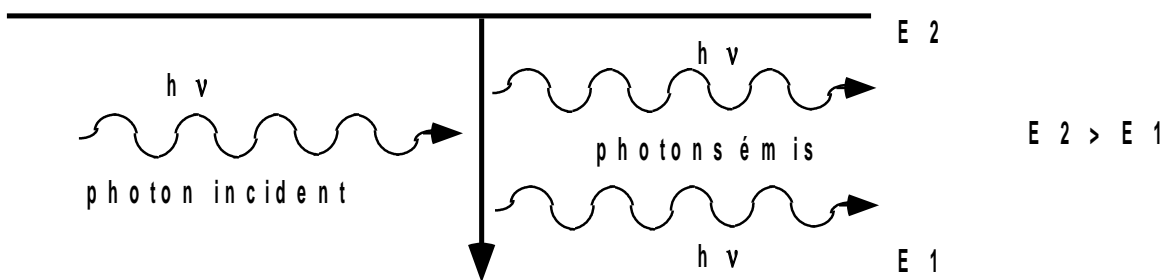


Figure n°3 : L'émission stimulée.

Si ces deux photons rencontrent deux atomes excités, quatre photons identiques sont alors produits, et ainsi de suite. Cette réaction en chaîne, avec amplification de l'énergie initiale, est à l'origine du phénomène laser.

### I212 Composition d'un laser

Un laser est composé d'un réservoir d'électrons, ou milieu actif, associé à une source d'énergie ou source de pompage, qui va élever les électrons du milieu actif à des niveaux d'énergie supérieurs : c'est l'inversion de population.

Le milieu actif est placé dans un résonateur optique ou amplificateur, constitué de deux miroirs parallèles : le réflecteur, complètement réfléchissant, et le coupleur, semi-transparent, permettant à

la lumière créée de sortir de la cavité dans une seule direction. Les photons traversent plusieurs fois le milieu actif par réflexion et provoquent l'émission stimulée d'un plus grand nombre de photons grâce aux miroirs.

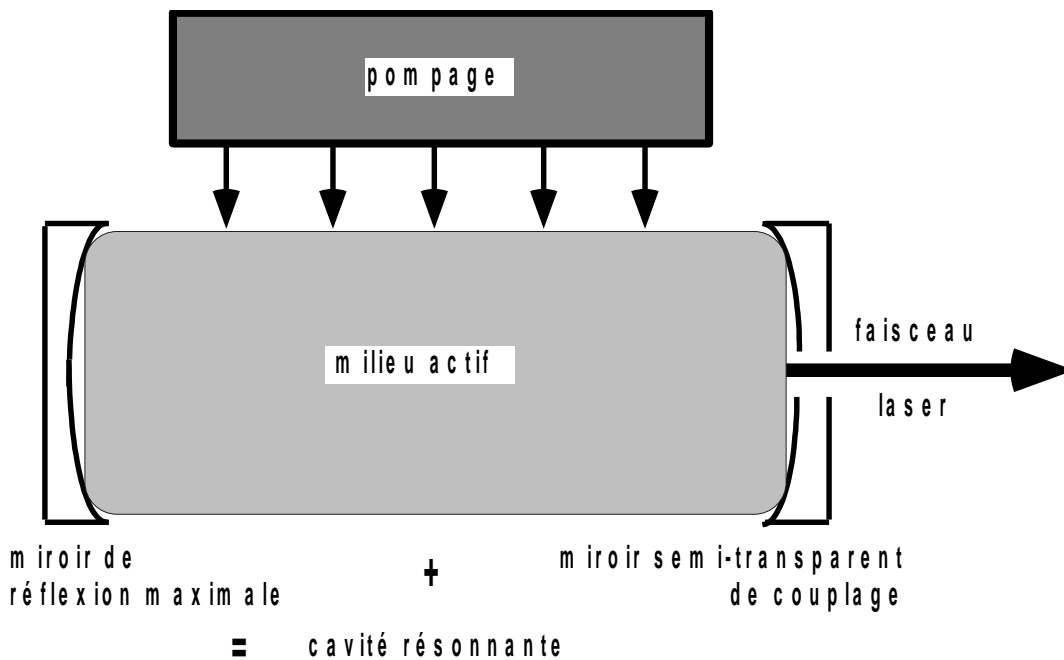


Figure n°4 : Composition du laser.

### I213 Propriétés de la lumière laser

Le faisceau laser est unidirectionnel (contrairement à une source lumineuse classique qui émet dans toutes les directions), intense (perte énergétique très limitée), monochromatique (tous les photons ont la même longueur d'onde) et cohérent (les caractéristiques du faisceau sont identiques en deux points différents, et en deux moments différents : cohérence spatio-temporelle).

### I214 Caractéristiques énergétiques du faisceau laser

L'énergie du photon incident dépend de la longueur d'onde d'émission.

Il existe 3 modes d'émission : continu (la puissance instantanée est constante au cours du temps), impulsionnel ou pulsé (la puissance instantanée varie avec le temps), et déclenché (interruption du faisceau continu).

Trois types de puissances sont définies pour le mode impulsionnel : la puissance crête (puissance

instantanée maximale), la puissance impulsionnelle (puissance moyenne d'une impulsion) et la puissance moyenne. La durée (en secondes), l'énergie (en Joules) et la fréquence (en Hertz) des impulsions définissent le mode impulsionnel.

L'exposition énergétique, ou « fluence », définie en  $J/cm^2$ , est la quantité d'énergie reçue par unité de surface.

## I215 Interactions du faisceau laser avec la matière

L'intensité du faisceau laser qui pénètre dans un milieu est en partie absorbée, transmise, réfléchi et diffusée. L'effet recherché pour les applications cliniques en odontologie est l'absorption par les tissus, qui transforme l'énergie en chaleur, causant ainsi un effet thermique ponctuel au niveau du tissu cible.

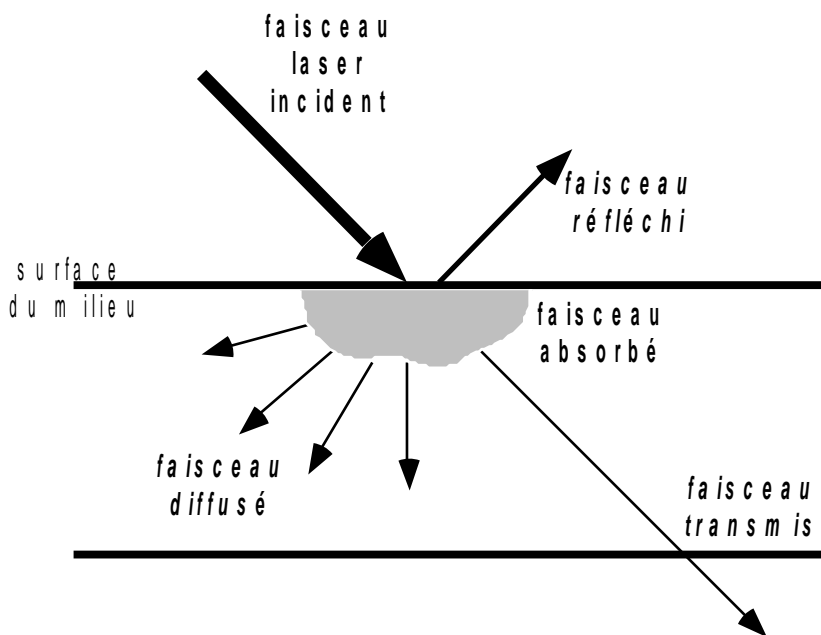


Figure n°5 : Interactions du faisceau laser avec le milieu.

## I22 Principaux lasers utilisés en endodontie (4, 57)

### I221 Le laser Nd:YAG

Le grenat d'yttrium et d'aluminium, ou YAG (Yttrium Aluminium Garnet), de formule  $Y_3Al_5O_{12}$ , est un solide cristallin, dont les ions  $Y^{3+}$  sont substitués par des ions néodymes  $Nd^{3+}$ . Le laser Nd:YAG émet dans l'infrarouge à 1064nm. C'est un des types les plus communs de laser, utilisé dans de nombreuses applications médicales et industrielles.

Il fonctionne selon un mode continu ou pulsé.

Le faisceau laser est transmis par une fibre flexible, dont le diamètre est de 200 à 300 $\mu$ m.

La puissance moyenne utilisée est comprise entre 1W et 3W, et est le plus souvent de 1,5W.

L'énergie de chaque pulse est comprise entre 100 à 150mJ.

La fréquence des pulses est de 10 à 20Hz, et la durée des pulses est de 100 $\mu$ s.

La fibre laser est insérée à 1 mm de la longueur de travail, puis le faisceau laser est déclenché, la fibre est remontée de l'apex à l'entrée canalaire, lentement (certains auteurs décrivent une vitesse de 2mm/s) par des mouvements hélicoïdaux ou spiraux, selon la technique de Gutknecht. Cette opération, qui dure selon les auteurs de 4 à 5 secondes, est effectuée quatre fois la plupart du temps, avec des pauses de 5 à 20 secondes d'intervalles entre chaque passage de la fibre. Cet intervalle est indispensable pour limiter la hausse de température à l'intérieur du canal.



Figure n°6 : Laser Smarty A10, DEKA, Italie.

## I222 Le laser Er:YAG

Les ions  $Y^{3+}$  du grenat d'yttrium et d'aluminium sont remplacés par des ions erbium  $Er^{3+}$ . Ce laser émet dans l'infrarouge à 2940nm. Il opère dans le mode pulsé.

Il est utilisé dans le champ de l'endodontie, avec une fibre laser de diamètre allant de 200 à 400 $\mu$ m, une énergie par pulse de 20 à 300mJ, une puissance moyenne de 0,3 à 4W, une fréquence de pulses de 15 à 20Hz, une durée de pulse de 50 à 200 $\mu$ s.

La pointe de la fibre laser est insérée à 1mm de la longueur de travail (2mm de l'apex radiographique), puis le faisceau est activé, et un mouvement de lent va-et-vient ellipsoïdal de l'apex à l'entrée canalaire est effectué. Cette opération, d'environ 5 secondes, est répétée de 3 à 4 fois, en respectant un intervalle de 5 à 10 secondes.



Figure n°7 : KEY Laser 3+, KaVo, Allemagne.



## I223 Le laser Er, Cr:YSGG

Le laser Er,Cr:YSGG est composé d'un grenat d'yttrium, de scandium et de gallium, dopé par des ions erbium Er<sup>3+</sup> et chrome Cr<sup>3+</sup>. Il émet à une longueur d'onde de 2870nm, et fonctionne en mode pulsé.

Il est utilisé en endodontie à des puissances moyennes de 0,75 à 3W, à une énergie par pulse de 20 à 300mJ, une fréquence de pulses de 20Hz.

Le faisceau laser est émis par une fibre d'un diamètre de 200 à 400µm, dont l'extrémité est placée à 1mm de l'apex, puis animée d'un mouvement de va-et-vient de l'apex à l'entrée canalaire. Ce cycle, de 5 à 10 secondes, est répété 2 à 4 fois, avec un intervalle de 5 à 40 secondes entre chaque cycle.

La fibre peut aussi être utilisée sans mouvement, en étant placée à 5mm environ de l'apex, quand elle est utilisée dans un canal rempli d'irrigant.



Figure n°8 : Waterlase Millennium, Biolase Tech., Etats-Unis.

## I224 Le laser diode

Un laser diode est un composant optoélectronique à base de matériaux semi-conducteurs. Il possède une structure simple regroupant les deux sous-ensembles, milieux actif et résonateur, en un même dispositif. Lorsque la diode est polarisée, le passage des électrons se traduit par une libération d'énergie sous la forme de photons. Il émet dans le rouge entre 625 et 700nm, et dans l'infrarouge entre 810 et 980nm, selon un mode continu ou pulsé.

Dans le cadre de ses applications en endodontie, il peut être utilisé seul ou avec un colorant (thérapie photodynamique).

Quand il est utilisé seul, le faisceau laser est réglé à des puissances de 1 à 3W, à des longueurs d'ondes variant de 810 à 980nm, et est émis par des fibres de 200 à 400µm de diamètre, insérées à 1mm de l'apex, puis déplacées de bas en haut et de haut en bas dans un mouvement ellipsoïdal pendant l'irradiation. Ce cycle dure de 5 à 20 secondes, et est répété jusqu'à 4 fois, avec des intervalles de 10 à 20 secondes.



Figure n°9 :LaserHF, Hager Werken, Allemagne.

### I3 Législation, risques et précautions au cabinet dentaire (4, 53)

L'utilisation de lasers en milieu médical comporte des risques de plusieurs natures et nécessite donc des précautions, d'ordre électrique, anti-incendie, d'usage.

Les lasers vendus au sein de la Communauté Européenne doivent avoir reçu le label « CE », témoignant qu'ils répondent aux normes de sécurité et environnementales imposées par la législation européenne.

L'usage professionnel du laser est notamment régi par le décret n°2010-750 du 2 juillet 2010 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels.

Les risques principaux sont les risques oculaires. En effet, entre 400 et 1400nm, le faisceau laser

peut entraîner des lésions irréparables au niveau de la rétine, et, au-delà de 1400nm, au niveau de la cornée, entraînant une distorsion de la vision.

Le port de lentilles de contact est dangereux, en effet le rayonnement laser peut provoquer la combustion de celles-ci et aggraver les lésions cornéennes.

Au niveau de la rétine, le laser peut provoquer une destruction des cônes rouges et verts pour les longueurs d'onde du visible, et peut détruire des zones complètes de tissu, avec une lésion de tous les photorécepteurs, dans l'infrarouge. Cette atteinte peut passer inaperçue au moment de l'irradiation car il n'y a pas de nocicepteurs au niveau de la rétine. Les atteintes de la fovéa sont les plus graves, entraînant une perte importante de la vision centrale.

La norme EN 60825-1/A2 classe les lasers en 7 catégories selon le risque oculaire.

Seuls les lasers de classe 1 et 2 sont autorisés en dehors d'un cadre professionnel.

Les lasers utilisés pour des applications en odontologie sont en général de classe 4, avec une puissance de sortie supérieure à 0,5W, susceptibles d'endommager les yeux et la peau en cas d'irradiation directe ou par réflexion.

Même avec des lunettes adaptées, le faisceau laser ne doit pas être regardé directement.

L'usage du laser dans la salle de soins oblige à la création d'une zone « de danger », comportant la présence d'un autocollant avertissant du risque lié au laser et reprenant l'inscription : « Rayonnement laser visible ou invisible - Exposition dangereuse de l'œil ou de la peau au rayonnement direct ou diffus - Appareil à laser de classe 4 ».

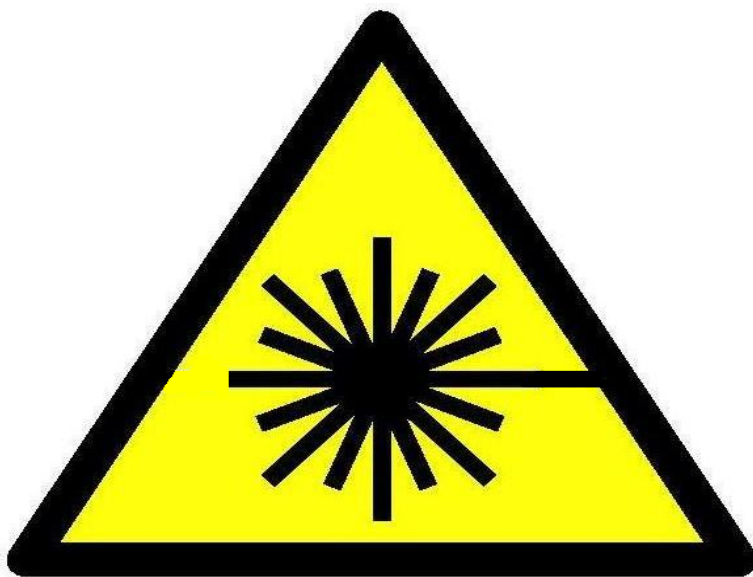


Figure n°10 : Affichage obligatoire sur la salle de soins.

Lors de l'utilisation du laser, une lumière rouge doit s'éclairer à l'extérieur de la salle.

Toutes les personnes présentes dans la salle de soins pendant le fonctionnement du laser doivent être équipées de lunettes de protection adaptées, certifiées « CE » (directive européenne n°89/686/CEE relative aux équipements de protection individuelle), comportant des protections latérales, et non rayées.

Le marquage des lunettes de protection, défini par la norme EN 207, comporte une lettre pour le mode d'émission du laser (D pour le mode continu, I-R-M pour le mode pulsé), une valeur en nanomètres correspondant aux longueurs d'onde filtrées par les lunettes, un échelon de protection de L1 à L10 indiquant la capacité des lunettes à diminuer l'énergie laser en dessous de l'EMP (exposition maximale permise), le nom du fabricant et la marque de certification.

D'autres risques doivent être prévenus :

- le risque d'électrocution, en évitant de stocker des liquides au-dessus des lasers,
- le risque d'incendie, en supprimant toutes les substances inflammables et les outils réfléchissants de la zone opératoire,
- le risque d'explosion (l'utilisation de lasers sur des patients traités sous sédation consciente par inhalation de MEOPA est formellement interdite en raison de la présence de gaz).

D'autres précautions sont nécessaires : démaquillage systématique, recherche systématique de toute contre-indication d'ordre général, recherche d'une éruption virale en cours, aspiration et port du masque.

Les contre-indications à l'utilisation du laser en dermatologie peuvent s'appliquer à l'odontologie : prise de médicaments photosensibilisants, maladies occasionnant une sensibilisation à la lumière ou dont les symptômes peuvent être aggravés par l'exposition à la lumière, lésions cancéreuses.

L'entretien et la vérification du laser par un personnel compétent sont obligatoires.

## II Analyse critique de la littérature

### III Sélection d'articles

Afin de répondre à notre problématique, nous avons choisi de sélectionner les articles récents (depuis 2007), dont le sujet principal est le laser dans le domaine de l'endodontie.

Nous avons donc commencé par chercher sur PubMed, les articles associant les mots « laser » et « canal root treatment », « laser » et « endodontics ».

A partir de la bibliographie des articles sélectionnés, nous avons trouvé d'autres articles concernant le sujet.

Nous avons exclu tous les articles traitant uniquement du laser ou uniquement de l'endodontie, ainsi que les articles traitant des applications du laser dans les autres domaines de l'odontologie, même en rapport avec l'endodontie (résection apicale, ancrage radiculaire...).

Au final nous avons gardé 64 articles, publiés de 2007 à 2012, étudiant les possibilités thérapeutiques des lasers dans le champ de l'endodontie.

La plupart des articles que nous avons sélectionnés sont des études appelées « *ex vivo* », c'est-à-dire sur des dents humaines extraites récemment, ne présentant qu'un canal radiculaire droit. Les nombreuses observations sont majoritairement faites au MEB (microscope électronique à balayage). Seulement 4 études ont été faites *in vivo*, dont deux chez l'animal et deux chez l'homme.

Nous avons analysé et classé les études, à partir de la méthode de l'ANAES.

	OUI	NON
Les objectifs sont clairement exposés	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70.	
Le protocole est clairement et complètement décrit	1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 49, 50, 52, 54, 58, 59, 60, 61, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 70.	6, 17, 27, 46, 48, 51, 64.
L'étude est comparative	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31,	38.

	34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70.	
L'étude est randomisée		1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70.
Les échantillons sont d'origine humaine	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 50, 51, 52, 54, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70.	22, 36, 40, 41, 48, 49, 61.
Le nombre d'échantillons est important (>30)	1, 3, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 39, 42, 43, 44, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 54, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70.	2, 5, 6, 10, 11, 16, 23, 24, 25, 27, 37, 38, 40, 41, 45, 48.
Les résultats sont issus d'une analyse statistique	1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70.	3, 5, 17, 24, 27, 58, 59.
Les résultats sont cohérents avec l'objectif	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70.	
Les résultats sont exploitables par le clinicien	1, 2, 3, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 31, 35, 36, 39, 42, 43, 44, 47, 50, 52, 54, 60, 61, 63, 64, 66, 67, 68, 69, 70.	6, 7, 17, 21, 22, 27, 29, 34, 37, 38, 40, 41, 45, 46, 48, 49, 51, 58, 59, 65.

Tableau n°1 : Analyse des études

A partir de ces critères, nous avons classé les articles selon leur niveau de qualité : bonne (preuve scientifique établie), moyenne (présomption scientifique) ou insuffisante (faible niveau de preuve scientifique).

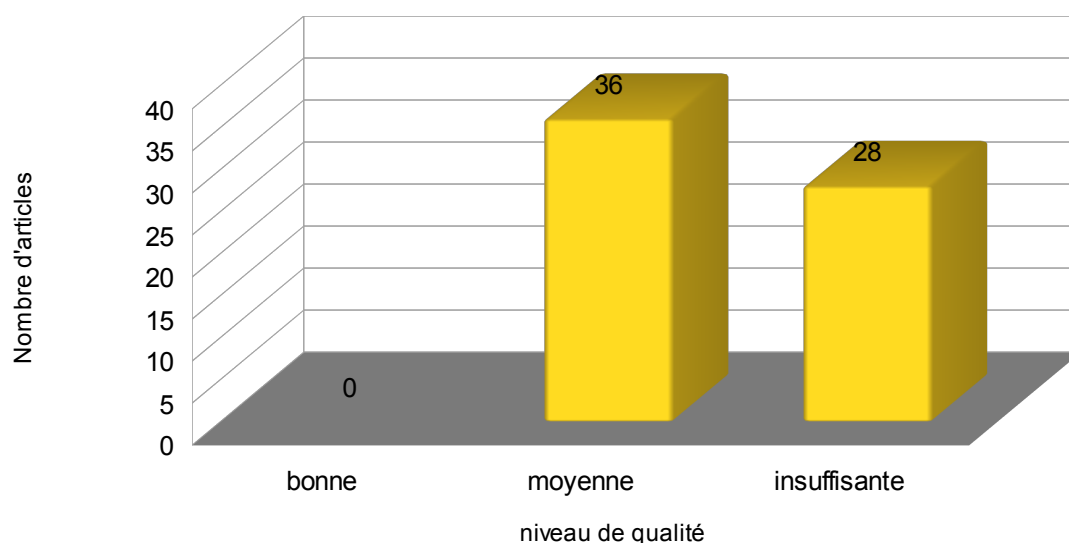


Figure n°11 : Classement des études

## II2 Apports des lasers dans le traitement endodontique

### II21 Préparation canalaire

Quatre articles ont étudié, *ex vivo* et *in vitro*, la possibilité de débrider le canal radiculaire par le laser, à l'aide d'observations au MEB. En effet, ce débridement, habituellement effectué par des instruments en Ni-Ti, pourrait être effectué par des faisceaux lasers émis par des fibres de diamètres adaptés aux normes ISO.

Kokuzawa et coll. (2012) et Inamoto et coll. (2009) ont testé l'efficacité de coupe de la dentine par le laser Er:YAG, et conclu que celui-ci était efficace pour la préparation canalaire.

Kokusawa et coll., après avoir préparé 6 canaux aux forêts de Gates et jusqu'à la lime manuelle de 25, les ont ensuite traités au laser, par 3 cycles de 10 secondes, en plaçant la fibre à 1mm du foramen apical. Ils ont ensuite observé une augmentation significative du débridement canalaire après la première irradiation, contrairement aux 2 suivantes.

Inamoto et coll., sur des blocs de dentine, observèrent que la dentine était coupée uniformément par

le laser.

Deux études ont comparé les résultats d'un débridement effectué au laser avec ceux d'un débridement conventionnel.

Moogi et Rao (2010) ont évalué la présence d'enduit pariétal aux tiers apical, moyen et cervical, de canaux préparés aux limes manuelles ou au laser Nd:YAG, sous irrigation au ClONa à 2%.

Ils ont observé la présence d'une couche d'enduit sur toute la longueur des canaux préparés selon la technique standard, et en plus grande quantité au tiers apical, alors que les canaux préparés au laser ne contenaient pas d'enduit pariétal aux tiers moyen et cervical, mais en présentaient au tiers apical.

Minas et coll. (2009) ont comparé l'élargissement à la longueur de travail adéquate, la quantité d'enduit pariétal et l'ouverture des tubules dentinaires de canaux préparés de façon conventionnelle (avec irrigation au ClONa) et d'autres préparés au laser Er,Cr:YSGG (avec irrigation à l'eau), toujours selon la technique du step-back. Ils ont constaté qu'il était possible de réaliser la préparation canalaire, avec formation d'une matrice apicale, en utilisant l'irradiation laser par des pointes de fibres spécifiques, cependant le débridement conventionnel avait un taux de succès supérieur à celui du laser (80% contre 60%).

**Les résultats de ces études sont mitigés, puisque les deux premiers supposaient que le laser Er:YAG pourrait efficacement débrider et préparer le canal radiculaire, mais aucune des deux ne portait sur une préparation intégrale au laser, et d'autres études semblent nécessaires afin de préciser les possibilités thérapeutiques du laser Er:YAG dans la préparation canalaire. L'étude sur le laser Nd:YAG suggérait que la préparation canalaire était possible avec un faisceau laser, et que la propreté et le nettoyage des parois canalaire seraient améliorés avec cette technique, en comparaison avec les techniques standards.**

**L'étude sur le laser Er,Cr:YSGG constatait également la possibilité de préparer le canal au laser, mais que celle-ci présentait encore des limites, et que des améliorations étaient nécessaires pour augmenter le taux de succès.**

**Le faible nombre d'études portant sur ce sujet, ainsi que leurs résultats peu probants, ou incomplets, indiquent que d'autres études sont indispensables avant de pouvoir présenter les lasers comme une possible alternative à l'instrumentation Ni-Ti en rotation continue.**





Figure n°12 : Préparation canalaire par le laser Nd:YAP, cas clinique du Pr Jean, Nantes.

## II22 Modifications des surfaces, conséquences histologiques

26 articles portaient sur les changements morphologiques et thermiques induits par les lasers, ainsi que leurs conséquences sur l'obturation canalair.

25 de ces articles étaient des études *ex vivo*, effectuées sur des canaux de dents humaines extraites, préparés manuellement avec des limes K, ou des instruments Ni-Ti en rotation continue, puis irradiés au laser.

Une étude a été réalisée *in vivo*, sur des rats.

19 articles ont décrit les modifications des surfaces dentinaires intracanalaires, en observant des sections de dents au microscope électronique à balayage, et en comparant les images avec celles obtenues sur des dents n'ayant pas été traitées au laser, ou ayant été traitées par irrigation à l'EDTA.

Il ressortait de ces études que :

- le traitement par laser Er:YAG nettoyait efficacement la surface dentinaire, en supprimant l'enduit pariétal, et entraînait l'ouverture des tubules dentinaires, sur toute la longueur du canal (13, 16, 26, 30, 34, 38), laissant une surface rugueuse et irrégulière (34), sans entraîner de carbonisation ou de fusion (34, 38).
- le traitement par laser Nd:YAG supprimait partiellement la couche d'enduit (10, 17, 31, 47) et provoquait une fusion et une resolidification de la surface dentinaire, la rendant irrégulière et non uniforme (10, 16, 47).
- le traitement par laser Er,Cr:YSGG éliminait efficacement la couche d'enduit (26, 45, 58, 59, 60), rendait la surface dentinaire rugueuse (58) et provoquait, pour certains auteurs, l'ouverture des tubules dentinaires (45, 58, 59, 60), et pour d'autres, leur fermeture (69).
- le traitement par laser diode supprimait partiellement la couche d'enduit (10), entraînait la fermeture des tubules dentinaires (5, 10, 16) et provoquait une fusion et une resolidification de la surface dentinaire (10).
- l'élimination de l'enduit pariétal était optimisée par la combinaison d'une irrigation à l'EDTA et d'un traitement par laser (13, 17, 26, 30, 47).
- la microdureté de la dentine profonde était augmentée par le traitement au laser diode (65).
- le laser Er:YAG n'améliorait pas l'élimination de l'hydroxyde de calcium (35).
- le traitement par laser Nd:YAG n'entraînait pas d'altération majeure du contenu minéral de la dentine irradiée, contrairement aux irrigants (31).

Une étude (37), au contraire, n'a pas observé de réduction significative de la couche d'enduit, après

traitement par le laser Er:YAG, ou par le laser Nd:YAG.

9 articles ont rapporté les conséquences, induites par ces changements, sur la qualité de l'obturation canalaire.

Les observations étaient les suivantes :

- le traitement par le laser Nd:YAG améliorait l'étanchéité apicale de l'obturation canalaire ( 9, 43, 44, 47) et diminuait la perméabilité dentinaire intracanaulaire (16).
- le traitement par le laser Er:Cr:YSGG augmentait la perméabilité des parois canalaire (27, 52, 60), permettant l'obturation d'un plus grand nombre de ramifications canalaire (64).
- le traitement par le laser Er:YAG augmentait la perméabilité canalaire (16, 27).
- le traitement par le laser diode augmentait la perméabilité canalaire (16) ou la diminuait (9), selon les études.

5 articles ont mesuré les augmentations de température causées par les irradiations laser.

Les auteurs de ces études ont observé que :

- les faisceaux laser entraînent une augmentation de température locale comprise entre 1,2 et 3,5°C, en mode pulsé (5, 13, 30, 58, 59), et jusqu'à 8,6°C, en mode continu (5).
- les températures retombent immédiatement après l'irradiation, sans causer de dommage structurel ou d'altération anatomique à l'intérieur des canaux et sur les tissus parodontaux (5, 13, 30, 59).

Kimura et coll. (2011) ont étudié l'influence de l'irradiation laser Er:YAG sur les tissus parodontaux, *in vivo* sur des canaux infectés de 40 rats. Les canaux étaient laissés ouverts pendant 4 semaines pour créer une lésion apicale. Ils étaient ensuite instrumentés et traités au laser, réglé à 3 énergies différentes (100, 200, 300mJ/pulse), ou au ClONa et au peroxyde d'hydrogène. Les canaux étaient ensuite obturés à l'hydroxyde de calcium et au CVI. Les rats étaient sacrifiés à 0, 1, 2, 4, et 8 semaines après le traitement, et la mandibule était observée au microscope optique pour évaluer la lésion parodontale. Ils ne retrouvaient pas d'inflammation ou de résorption radiculaire dans le groupe non irradié ou dans le groupe irradié à 100mJ/pulse. Il existait cependant une inflammation, légère à sévère, avec résorption radiculaire sur quelques canaux ayant été irradiés à 200 et 300mJ/pulse. Les auteurs concluent que les influences thermiques sur les tissus parodontaux, de canaux infectés expérimentalement, pendant la préparation au laser Er:YAG étaient minimales si les paramètres étaient appropriés.

Les différentes études font apparaître que l'utilisation adéquate des lasers en endodontie ne provoquerait pas de lésions parodontales ou intracanales, dues à l'effet thermique.

Les différents lasers auraient la capacité de supprimer, en partie ou en totalité, la couche d'enduit.

Les lasers Erbium augmenteraient la perméabilité canalaire, permettant un meilleur scellement des canaux accessoires, tandis que les lasers Nd:YAG diminueraient la perméabilité dentinaire intracanaire, permettant une meilleure étanchéité apicale du scellement.

L'utilisation des lasers pourrait améliorer la qualité du traitement endodontique, et être présentée comme un supplément bénéfique à celui-ci, mais reste pour l'instant une thérapeutique adjuvante.

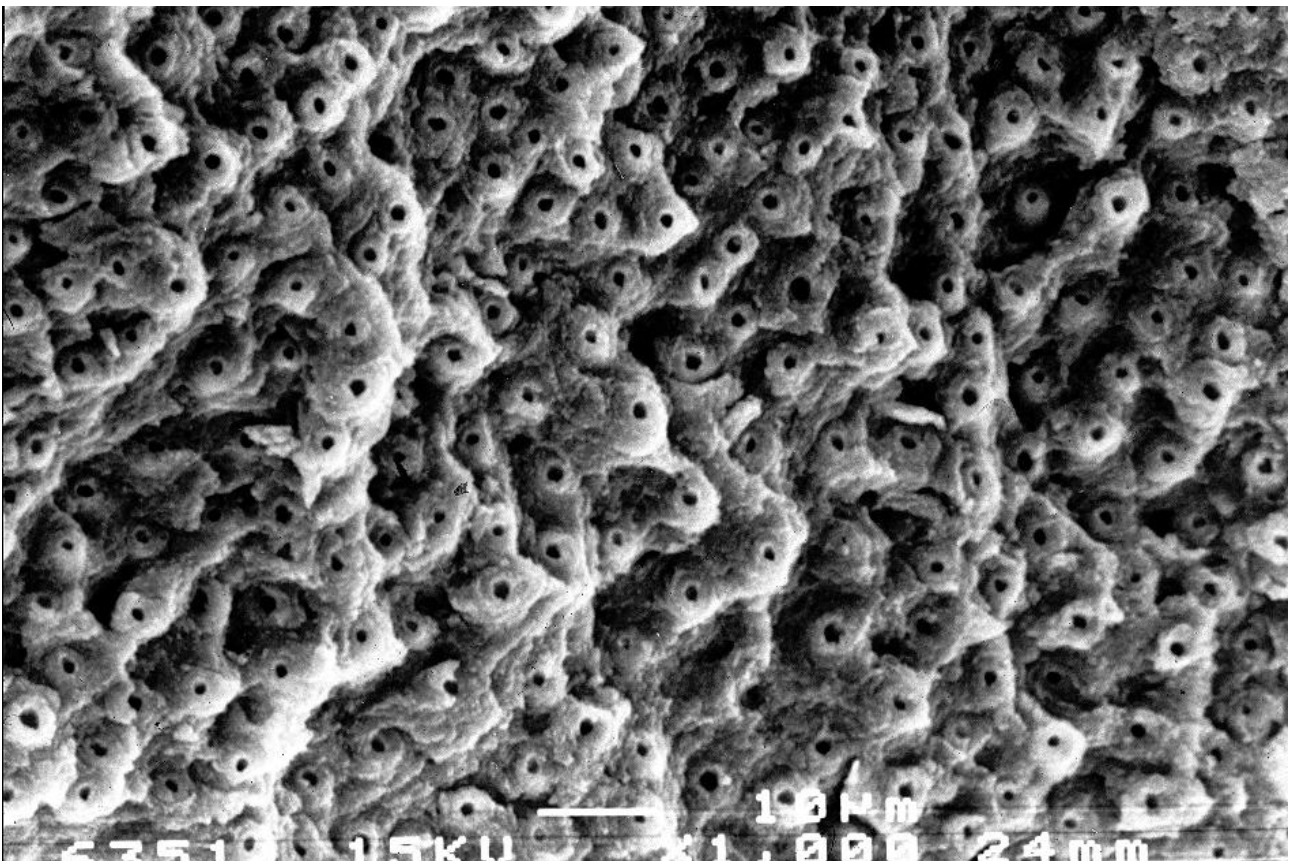


Figure n°13 : Observation de tubules dentinaires ouverts au microscope électronique, Dr Armengol, Nantes.

## II23 Action bactéricide

22 articles portaient sur l'action bactéricide des lasers. Celle-ci a été testée la plupart du temps sur *Enterococcus faecalis*, bactérie Gram+, anaérobie facultative, choisie pour sa haute résistance aux antibiotiques, et parce qu'elle est très souvent retrouvée dans les parodontites apicales sur des canaux déjà obturés préalablement, car elle survit aux variations de température, résiste à l'hydroxyde de calcium et est très difficile à éradiquer.

15 de ces études ont été réalisées *ex vivo*, sur des dents extraites, la plupart du temps découronnées. La préparation des canaux (droits le plus souvent) était réalisée à la longueur de travail, soit avec des instruments Ni-Ti en rotation continue, soit manuellement avec des limes K, associée à une irrigation au ClONa entre chaque passage d'instrument, puis une irrigation finale à l'EDTA. Ils étaient ensuite inoculés par *E. faecalis* (sauf pour un article (34), par *Candida albicans*).

Les 7 autres études ont été réalisées *in vitro*, sur des disques de dentine (21, 22, 40), des cylindres de dentine (29), des disques d'hydroxyapatite (49), des modèles en résine (48) ou sur gélose (41).

7 études testaient l'efficacité antimicrobienne d'un type de laser, en constatant la réduction de la charge microbienne avant et après le traitement par le laser, sans comparer ces résultats à ceux d'un autre laser ou d'une autre technique de désinfection.

Parmi celles-ci, les auteurs ont conclu que :

- les lasers Nd:YAG (22, 41), Er:YAG (14, 41, 49), Er,Cr:YSGG (21, 59) avaient une action bactéricide.
- le laser Er:YAG était efficace, à de basses énergies (inférieures à 220mJ), contre les biofilms d'*Actinomyces naeslundii*, *Lactobacillus casei*, *Enterococcus faecalis*, *Fusobacterium nucleatum*, *Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella nigrescens* (49), et contre *Candida albicans* et *Propionibacterium acnes* (41),
- le laser Nd:YAG était plus efficace quand les pulses duraient 100µs que quand ils duraient 15 ou 25ms (22),
- le laser Er,Cr:YSGG aurait un effet bactéricide jusqu'à une épaisseur dentinaire de 500µm (21),
- le laser diode n'aurait pas d'effet bactéricide quand il est utilisé seul, selon Nagayoshi et coll. (2011).

15 études comparaient la réduction de la charge microbienne par le traitement des différents lasers, avec celle obtenue par l'irrigation au ClONa. Il ressortait de ces études que :

- les lasers Er,Cr:YSGG (1, 12, 15, 29, 51, 66, 67, 69), Er:YAG (40, 67, 68), Nd:YAG (28, 40, 66, 67, 68) et diode (11, 28) ont un effet antimicrobien significatif. Cependant, ils ne pouvaient stériliser les canaux, contrairement à l'irrigation conventionnelle au ClONa (à une concentration de 1 à 6%), qui avait la capacité d'éradiquer les bactéries (1, 12, 15, 28, 40, 42, 66, 68, 69).
- Trois auteurs, cependant, ne constataient pas de réduction bactérienne significative après irrigation au ClONa ou après irradiation au laser diode (2) ou au laser Nd:YAG (40, 42).
- Le laser Er:YAG semblait être plus efficace que le laser Nd:YAG (40, 67, 68).
- Les lasers Er:YAG (68) et Er,Cr:YSGG (12) seraient moins efficaces dans les canaux courbes que dans les canaux droits.
- Le laser Nd:YAG serait plus efficace que le laser Er, Cr:YSGG selon Wanq et coll. (2007), alors que Xiaogang et coll. constataient le contraire (2012).

Mehrvarzfar et coll. (2011) ont évalué l'efficacité de plusieurs irrigants, associés ou non à un traitement au laser diode, et ils en ont conclu que l'association de l'irrigation au MTAD et de l'irradiation au laser diode éliminerait complètement *E. faecalis*.

**Il ressort de l'analyse de ces articles que le laser Er:YAG serait le laser ayant le plus fort pouvoir antimicrobien. Cependant, l'irrigation à l'hypochlorite de sodium demeure la seule technique capable de stériliser les canaux. Le traitement au laser ne peut donc être présenté, pour l'instant, que comme un adjuvant à la désinfection endodontique, et non comme une alternative à l'irrigation conventionnelle.**

## II24 Irrigation activée par le laser

L'irrigation activée par le laser est une technique qui combine l'irrigation chimique et l'irradiation laser, dans le but d'optimiser l'élimination des débris intracanaux. Le principe est d'activer le laser dans le canal rempli d'irrigant.

Sept articles (6, 7, 8, 26, 30, 54, 70) rapportaient des études testant l'efficacité de l'irrigation activée par le laser. Ces études ont été réalisées *ex vivo*, sur des dents humaines, extraites, découronnées, avec un canal (le plus souvent rectiligne) instrumenté, manuellement avec des limes K, ou avec des instruments Ni-Ti en rotation continue.

Les auteurs de ces études ont observé que :

- l'EDTA était l'irrigant le plus efficace pour éliminer la couche d'enduit et les débris intracanaux (26, 70).
- l'irrigation au ClONa (à 2,5%) et à l'EDTA (à 17%), activée par le laser Er:YAG, éliminait l'enduit pariétal, même dans le tiers apical (30).
- dans les canaux courbes, l'activation par le laser Nd:YAG améliorait l'efficacité de l'irrigation au ClONa, mais pas celle de l'irrigation à l'EDTA (70).
- l'irrigation à l'EDTA activée par le laser Er, Cr:YSGG, était supérieure à l'irrigation à l'EDTA activée par les ultrasons (54).
- l'irrigation au ClONa activée par les lasers Er:YAG et Er, Cr:YSGG était aussi, voire plus performante (6, 7) que l'irrigation ultrasonique, qui était plus efficace que l'irrigation manuelle, à la seringue (6, 7, 8).
- l'irradiation au laser Er:YAG amplifiait l'action de l'EDTA, sans augmenter le temps de travail (26).

**Ces études suggéraient une amélioration de l'efficacité de l'irrigation par son activation par le laser, la rendant supérieure à l'irrigation activée par les ultrasons, elle-même supérieure à l'irrigation conventionnelle. Cependant, les études sont peu nombreuses et limitées. Des études supplémentaires semblent indispensables, afin de prouver et de confirmer l'amélioration de l'irrigation grâce au laser.**

## II25 Désinfection photoactive

La thérapie photoactive antibactérienne, aussi appelée photodynamique antibactérienne ou désinfection photoactive, consiste à exciter, par un rayonnement laser, un colorant photosensible non toxique (ou photosensibilisateur), qui réagit avec l'oxygène ambiant pour produire des formes réactives d'oxygène, tels que l'oxygène singulet ou les radicaux libres, qui ont un potentiel bactéricide.

Cette technique, notamment utilisée dans les traitements de cancers, trouve aussi des applications en endodontie.

Les colorants utilisés sont le bleu méthylène (à une concentration de 6 à 50µg/mL), le bleu toluidine (de 100µg/mL à 13mg/mL), le phenothiazine chloride (à 10mg/mL), un conjugué de polyéthylèneimine (PEI) et de chlorure (e6).

Le colorant est laissé tout d'abord pendant 1 à 5 minutes dans le canal (pré irradiation), puis activé par la source de lumière.

La source de lumière est apportée par le laser diode, d'une longueur d'onde de 660 à 665nm, d'une puissance de 20mW à 200mW.

La fibre, d'un diamètre de 200 à 600µm, est insérée à 1mm de l'apex, puis agitée lentement (1 à 2mm/s) de bas en haut par des mouvements hélicoïdaux, pendant 1 à 4 minutes.

17 articles avaient pour sujet la désinfection photoactive en endodontie.

Parmi ces articles, 1 était une revue de littérature sur la thérapie photodynamique en odontologie (32), 13 articles évaluaient l'efficacité bactéricide de cette technique de désinfection et 3 articles étaient des études *in vivo* sur l'efficacité de la désinfection photoactive.

11 articles étaient des études *ex vivo*, sur des canaux de dents extraites, préparés par des instruments Ni-Ti en rotation continue ou manuellement par des limes K, avec une irrigation au ClONa entre chaque instrument, puis stérilisés et inoculés par *Enterococcus faecalis* (2, 19, 20, 42, 50, 56, 63, 67) et par d'autres bactéries (3, 18, 25).

Une étude portait sur des disques de dentine (40) et une autre sur des modèles de dents en résine (48), inoculés par *Enterococcus faecalis*.

Les auteurs de ces études ont observé que :

- la désinfection photoactive entraînait une réduction significative de la charge bactérienne,



par rapport aux échantillons témoins n'ayant pas été traités (2, 3, 18, 19, 20, 25, 40, 42, 48, 50, 56, 67), alors que le traitement par le colorant seul ou le laser diode seul ne réduisait pas significativement la charge bactérienne (3, 18, 20).

- Cette technique semblerait être plus efficace que les traitements aux lasers Nd:YAG (40, 42) et diode (2).
- Par contre, un auteur observait une moindre efficacité de la désinfection photoactive, par rapport au laser Er:YAG (40).
- Selon plusieurs études, la thérapie photodynamique ne stériliserait pas les canaux (3, 18, 19, 20, 40, 42, 50, 56), contrairement à l'irrigation au ClONa (40, 42, 50).
- Enfin, pour certains auteurs, la désinfection photodynamique, effectuée après un traitement chimio-mécanique, réduirait significativement les bactéries dans le système canalaire (25, 56), alors que, pour d'autres, elle n'améliorerait pas significativement la désinfection après une préparation chimio-mécanique (63).

Sur les trois études réalisées *in vivo*, une a été effectuée sur des chiens et deux chez l'homme.

Silva et coll. (2012) ont testé la thérapie photodynamique sur des dents de chien, *in vivo*, afin d'évaluer la réponse des tissus apicaux et périapicaux de dents présentant une parodontite apicale. 60 canaux étaient exposés à la cavité buccale pendant 7 jours, entraînant une contamination microbienne. Les canaux étaient ensuite traités ou non par thérapie photodynamique, et obturés ou non. Les dents étaient restaurées et les animaux étaient sacrifiés au bout de 90 jours. Des coupes des maxillaires et des mandibules étaient colorées et observées au microscope optique. Sur les canaux traités par thérapie photoactive, la région apicale était élargie de modérément à sévèrement, sans cellule inflammatoire, avec une néoangiogenèse et une fibrogenèse modérées ; les lésions apicales étaient moins importantes que sur les canaux non traités par thérapie photoactive. Les auteurs en conclurent que la thérapie photoactive pouvait être considérée comme une thérapeutique adjuvante prometteuse au traitement endodontique conventionnel des dents nécrosées présentant une parodontite apicale.

Garcez et coll. (2008, 2010) ont réalisé deux études, *in vivo* chez l'homme, évaluant l'efficacité de la thérapie photodynamique.

La première (2008) a été effectuée sur 20 dents présentant une pulpe nécrotique et une parodontite périapicale. Après instrumentation manuelle jusqu'à la lime de 40, par la technique de crown-down, sous irrigation au ClONa à 2,5%, et au peroxyde d'hydrogène, puis irrigation finale à l'EDTA à

17%, les canaux étaient traités par désinfection photoactive. La charge bactérienne était contrôlée avant le traitement endodontique, après l'irrigation finale et après le traitement photodynamique, avec des pointes papier. Une obturation temporaire intracanaulaire à l'hydroxyde de calcium et coronaire à l'IRM était effectuée pendant 7 jours. Puis les canaux étaient scellés définitivement à la gutta-percha et recouverts de composite. Le premier jour, une baisse de 91% était observée après le traitement endodontique, et une baisse supplémentaire de 82% après la thérapie photoactive, soit au total une baisse de 98,5% de la charge bactérienne. Après une semaine, tous les canaux étaient recolonisés, puis on observait une baisse de 92% après traitement endodontique, et de 97% en plus après traitement photodynamique, soit au total une baisse de 99,9% de la charge bactérienne. Les auteurs constataient que l'association du traitement endodontique et de la thérapie photodynamique augmentait significativement l'efficacité du traitement, que la deuxième thérapie photodynamique était significativement plus efficace que la première, et que la réduction bactérienne totale était significativement meilleure lors de la deuxième séance.

La deuxième étude de Garcez et coll. (2010) a été effectuée sur 30 dents antérieures présentant des lésions périapicales, traitées auparavant par un traitement endodontique conventionnel et un traitement antibiotique. Les canaux étaient préparés manuellement et irrigués au ClONa à 2,5% et au peroxyde d'hydrogène à 3%. Après une irrigation finale à l'EDTA à 17%, le canal était traité par désinfection photoactive. Des échantillons microbiologiques étaient prélevés après avoir accédé au canal, après la préparation canalaire, et après la thérapie photodynamique. Le traitement endodontique seul produisait une réduction significative du nombre d'espèces bactériennes mais seulement trois dents étaient stérilisées complètement. La combinaison du traitement endodontique et de la thérapie photodynamique éliminait toutes les espèces résistantes et toutes les dents étaient entièrement stérilisées. Les auteurs ont conclu que la thérapie photodynamique était un traitement efficace pour éliminer les micro-organismes résistants aux médicaments, après le traitement conventionnel.

**Toutes les études, *ex vivo* et *in vivo*, ont reconnu l'efficacité de la désinfection photodynamique. Cependant, la grande majorité des auteurs a présenté celle-ci comme étant un possible adjuvant aux protocoles existants pour la désinfection canalaire, et non comme un traitement alternatif.**

### III Synthèse

Afin de résumer les propriétés et les applications des différents lasers utilisés en endodontie, recensées dans la littérature de 2007 à 2012, nous avons produit un tableau récapitulatif.

	Er:YAG	Nd:YAG	Er,Cr:YSGG	diode
Préparation canalaire	+/-	+/-	+/-	
Efficacité bactéricide	+++	++	+++	+
Elimination de la couche d'enduit	+++	++	+++	+
Ouverture des tubules	+++		+	
Fermeture des tubules		+/-		++
Amélioration de l'étanchéité apicale		+++		+/-
Perméabilité canalaire augmentée	+++		+++	+/-

Tableau n°2 : Propriétés et applications des lasers utilisés en endodontie.

Les lasers Erbium semblent donner les meilleurs résultats. En effet, ils suppriment efficacement la charge bactérienne et la couche d'enduit, permettent l'ouverture des tubules et augmentent la perméabilité canalaire.

Le laser Nd:YAG, efficace dans l'élimination de la couche d'enduit et de la charge microbienne, a la capacité d'améliorer l'étanchéité apicale.

La désinfection photodynamique semble être la technique la plus efficace pour la suppression des bactéries.

## CONCLUSION

Les lasers sont actuellement utilisés régulièrement, dans de nombreux domaines de la médecine.

Depuis les années 1970, les recherches sur l'amélioration du traitement endodontique grâce au laser sont croissantes.

Les études sélectionnées de 2007 à 2012 font apparaître que les lasers peuvent être un adjuvant efficace dans le nettoyage, la stérilisation et la préparation des canaux, mais ne peuvent être considérés comme une thérapeutique alternative aux techniques standards.

Quelques études seulement commencent à envisager une préparation canalaire par des fibres laser, tandis que de nombreux articles attestaient de l'élimination microbienne et de la suppression de l'enduit pariétal par les différents lasers.

La thérapie photoactive antibactérienne et l'irrigation activée par le laser sont prometteuses et semblent améliorer la désinfection par l'irrigation, mais ne peuvent pas, pour l'instant, la remplacer.

Cependant, ces recherches sont, pour la plupart, effectuées sur des canaux droits, *in vitro*, le niveau de preuve des études sur le sujet reste insuffisant pour pouvoir tirer des conclusions fortes, et des études *in vivo* sont nécessaires afin de prouver l'utilité des lasers dans la thérapeutique endodontique.

## Références bibliographiques :

1. **ARNABAT J, ESCRIBANO C, FENOSA A et coll.**  
Bactericidal activity of erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser in root canals.  
Lasers Med Sci 2010;**25**(6):805-810.
2. **BAGO I, PLECKO V, GABRIC'PANDURIC D et coll.**  
Antimicrobial efficacy of a high-power diode laser, photo-activated disinfection, conventional and sonic activated irrigation during root canal treatment.  
Int Endod J 2012;**46**(4):339-347.
3. **BERGMANS L, MOISIADIS P, HUYBRECHTS B et coll.**  
Effect of photo-activated disinfection on endodontic pathogens ex vivo.  
Int Endod J 2008;**41**(3):227-239.
4. **BERTRAND MF et ROCCA JP.**  
Les lasers en médecine bucco-dentaire.  
Réal Clin 2012;**23**(2):85-94.
5. **DA COSTA RIBEIRO A, NOGUEIRA GE, ANTONIAZZI JH et coll.**  
Effects of diode laser (810 nm) irradiation on root canal walls: thermographic and morphological studies.  
J Endod 2007;**33**(3):252-255.
6. **DE GROOT SD, VERHAAGEN B, VERSLUIS M et coll.**  
Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization.  
Int Endod J 2009;**42**(12):1077-1083.
7. **DE MOOR RJ, BLANKEN J, MEIRE M et VERDAASDONK R.**  
Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal.  
Part 2: evaluation of the efficacy.  
Lasers Surg Med 2009;**41**(7):520-523.
8. **DE MOOR RJ, MEIRE M, GOHARKHAY K et coll.**  
Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed dentin debris plugs.  
J Endod 2010;**36**(9):1580-1583.
9. **DE MOURA-NETTO C, DE FREITAS CARVALHO C, DE MOURA AA et coll.**  
Influence of Nd:YAG and diode laser irradiation on apical sealing when associated with AH plus and EndoREZ endodontic cements.  
Photomed Laser Surg 2007;**25**(5):413-417.

- 10. DE MOURA-NETTO C, DE MOURA AA, DAVIDOWICZ H et coll.**

Morphologic changes and removal of debris on apical dentin surfaces after Nd:YAG laser and diode laser irradiation.  
Photomed Laser Surg 2008;**26**(3):263-266.
- 11. DE SOUZA EB, CAI S, SIMIONATO MR et LAGE-MARQUES JL.**

High-power diode laser in the disinfection in depth of the root canal dentin.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2008;**106**(1):68-72.
- 12. DEWSNUP N, PILEGGI R, HADDIX J et coll.**

Comparison of bacterial reduction in straight and curved canals using erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser treatment versus a traditional irrigation technique with sodium hypochlorite.  
J Endod 2010;**36**(4):725-728.
- 13. DIVITO E, PETERS OA et 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 Med Sci 2010;**27**(2):273-280.
- 14. DOS SANTOS ANTONIO MP, MOURA-NETTO C, CAMARGO SE et coll.**

Bactericidal effects of two parameters of Er:YAG laser intracanal irradiation: ex-vivo study.  
Lasers Med Sci 2012;**27**(6):1165-1168.
- 15. ELDENIZ AU, OZER F, HADIMLI HH et ERGANIS O.**

Bactericidal efficacy of Er,Cr:YSGG laser irradiation against Enterococcus faecalis compared with NaOCl irrigation: an ex vivo pilot study.  
Int Endod J 2007;**40**(2):112-119.
- 16. ESTEVES-OLIVEIRA M, DE GUGLIELMI CA, RAMALHO KM et coll.**

Comparison of dentin root canal permeability and morphology after irradiation with Nd:YAG, Er:YAG, and diode lasers.  
Lasers Med Sci 2010;**25**(5):755-760.
- 17. FARIA MI, SOUZA-GABRIEL AE, MARCHESAN MA et coll.**

Ultrastructural evaluation of radicular dentin after Nd:YAG laser irradiation combined with different chemical substances.  
Gen Dent 2008;**56**(7):641-646.
- 18. FIMPLE JL, FONTANA CR, FOSCHI F et coll.**

Photodynamic treatment of endodontic polymicrobial infection in vitro.  
J Endod 2008;**34**(6):728-734.

- 19. FONSECA MB, JUNIOR PO, PALLOTA RC et coll.**  
Photodynamic therapy for root canals infected with *Enterococcus faecalis*.  
Photomed Laser Surg 2008;**26**(3):209-213.
- 20. FOSCHI F, FONTANA CR, RUGGIERO K et coll.**  
Photodynamic inactivation of *Enterococcus faecalis* in dental root canals in vitro.  
Lasers Surg Med 2007;**39**(10):782-787.
- 21. FRANZEN R, ESTEVES-OLIVEIRA M, MEISTER J et coll.**  
Decontamination of deep dentin by means of erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser irradiation.  
Lasers Med Sci 2009;**24**(1):75-80.
- 22. FRANZEN R, GUTKNECHT N, FALKEN S et coll.**  
Bactericidal effect of a Nd:YAG laser on *Enterococcus faecalis* at pulse durations of 15 and 25 ms in dentine depths of 500 and 1,000  $\mu\text{m}$ .  
Lasers Med Sci 2010;**26**(1):95-101.
- 23. GARCEZ AS, NUNEZ SC, HAMBLIN MR et RIBEIRO MS.**  
Antimicrobial effects of photodynamic therapy on patients with necrotic pulps and periapical lesion.  
J Endod 2008;**34**(2):138-142.
- 24. GARCEZ AS, NUNEZ SC, HAMBLIM MR et coll.**  
Photodynamic therapy associated with conventional endodontic treatment in patients with antibiotic-resistant microflora: a preliminary report.  
J Endod 2010;**36**(9):1463-1466.
- 25. GARCEZ AS, RIBEIRO MS, TEGOS GP et coll.**  
Antimicrobial photodynamic therapy combined with conventional endodontic treatment to eliminate root canal biofilm infection.  
Lasers Surg Med 2007;**39**(1):59-66.
- 26. GEORGE R, MEYERS IA et WALSH LJ.**  
Laser activation of endodontic irrigants with improved conical laser fiber tips for removing smear layer in the apical third of the root canal.  
J Endod 2008;**34**(12):1524-1527.
- 27. GEORGE R et WALSH LJ.**  
Apical extrusion of root canal irrigants when using Er:YAG and Er,Cr:YSGG lasers with optical fibers: an in vitro dye study.  
J Endod 2008;**34**(6):706-708.

**28. GEREK M, ASCI S et YAYLALI DI.**

Ex vivo evaluation of antibacterial effects of Nd:YAG and diode lasers in root canals.  
Biotechnol Biotechnol Eq 2010;**24**(3):2031-2034.

**29. GORDON W, ATABAKHSH VA, MEZA F et coll.**

The antimicrobial efficacy of the erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser with radial emitting tips on root canal dentin walls infected with *Enterococcus faecalis*.  
J Am Dent Assoc 2007;**138**(7):992-1002.

**30. GUIDOTTI R, MERIGO E, FORNAINI C et coll.**

Er:YAG 2,940-nm laser fiber in endodontic treatment: a help in removing smear layer.  
Lasers Med Sci 2012.

**31. GURBUZ T, OZDEMIR Y, KARA N et coll.**

Evaluation of root canal dentin after Nd:YAG laser irradiation and treatment with five different irrigation solutions: a preliminary study.  
J Endod 2008;**34**(3):318-321.

**32. GURSOY H, OZCAKIR-TOMRUK C, TANALP J et YILMAZ S.**

Photodynamic therapy in dentistry: a literature review.  
Clin Oral Invest 2013;**17**(4):1113-1125. .

**33. HAMEL H.**

Syllabus d'endodontie clinique. Tome I. 3ème Ed.  
Nantes : Université de Nantes, 1984.

**34. INAMOTO K, HORIBA N, SENDA S et coll.**

Possibility of root canal preparation by Er:YAG laser.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2009;**107**(1):47-55.

**35. KAPTAN F, KARAPINAR-KAZANDAG M, KAYAHAN MB et coll.**

Potential of an Er:YAG laser in the removal of calcium hydroxide from root canals.  
Photomed Laser Surg 2012;**30**(5):250-254.

**36. KIMURA Y, TANABE M, IMAI H et coll.**

Histological examination of experimentally infected root canals after preparation by Er:YAG laser irradiation.  
Lasers Med Sci 2011;**26**(6):749-754.

**37. KIVANC BH, ULUSOY OI et GORGUL G.**

Effects of Er:YAG laser and Nd:YAG laser treatment on the root canal dentin of human teeth: a SEM study.  
Lasers Med Sci 2008;**23**(3):247-252.



- 38. KOKUZAWA C, EBIHARA A, WATANABE S et coll.**  
Shaping of the root canal using Er:YAG laser irradiation.  
Photomed Laser Surg 2012;**30**(7):367-373.
- 39. MEHRVARZ FAR P, SAGHIRI MA, ASATOURIAN A et coll.**  
Additive effect of a diode laser on the antibacterial activity of 2.5% NaOCl, 2% CHX and MTAD against Enterococcus faecalis contaminating root canals: an in vitro study.  
J Oral Sci 2011;**53**(3):355-360.
- 40. MEIRE MA, COENYE T, NELIS HJ et DE MOOR RJ.**  
Evaluation of Nd:YAG and Er:YAG irradiation, antibacterial photodynamic therapy and sodium hypochlorite treatment on Enterococcus faecalis biofilms.  
Int Endod J 2012;**45**(5):482-491.
- 41. MEIRE MA, COENYE T, NALIS HJ et DE MOOR RJ.**  
In vitro inactivation of endodontic pathogens with Nd:YAG and Er:YAG lasers.  
Lasers Med Sci 2012;**27**(4):695-701.
- 42. MEIRE MA, DE PRIJCK K, COENYE T et coll.**  
Effectiveness of different laser systems to kill Enterococcus faecalis in aqueous suspension and in an infected tooth model.  
Int Endod J 2009;**42**(4):351-359.
- 43. MEIRE M, MAVRIDOU A, DEWILDE N et coll.**  
Longitudinal study on the influence of Nd:YAG laser irradiation on microleakage associated with two filling techniques.  
Photomed Laser Surg 2009;**27**(4):611-616.
- 44. MICHELS R, VERGAUWEN TE, MAVRIDOU A et coll.**  
Investigation of coronal leakage of root fillings after smear-layer removal with EDTA or Nd:YAG lasing through capillary-flow porometry.  
Photomed Laser Surg 2010;**28**(suppl 2):43-50.
- 45. MINAS NH, MEISTER J, FRANZEN R et coll.**  
In vitro preliminary study to evaluate the capability of Er,Cr:YSGG laser in posterior teeth root-canal preparation with step-back technique.  
Lasers Med Sci 2009;**24**(1):7-12.
- 46. MOOGI PP et RAO RN.**  
Cleaning and shaping the root canal with an Nd: YAG laser beam: A comparative study.  
J Conserv Dent 2010;**13**(2):84-88.

- 47. MOURA-NETTO C, GUGLIELMI CDE A, MELLO-MOURA AC et coll.**  
Nd:YAG laser irradiation effect on apical intracanal dentin - a microleakage and SEM evaluation.  
Braz Dent J 2011;**22**(5):377-381.
- 48. NAGAYOSHI M, NISHIHARA T, NAKASHIMA K et coll.**  
Bactericidal Effects of Diode Laser Irradiation on Enterococcus faecalis Using Periapical Lesion Defect Model.  
ISRN Dent 2011.
- 49. NOIRI Y, KATSUMOTO T, AZAKAMI H et EBISU S.**  
Effects of Er:YAG laser irradiation on biofilm-forming bacteria associated with endodontic pathogens in vitro.  
J Endod 2008;**34**(7):826-829.
- 50. NUNES MR, MELLO I, FRANCO GC et coll.**  
Effectiveness of photodynamic therapy against Enterococcus faecalis, with and without the use of an intracanal optical fiber: an in vitro study.  
Photomed Laser Surg 2011;**29**(12):803-808.
- 51. ONAY EO, ALIKAYA C et SEKER E.**  
Evaluation of antifungal efficacy of erbium, chromium: yttrium-scandium-gallium-garnet laser against Candida albicans.  
Photomed Laser Surg 2010;**28**(suppl 1):73-78.
- 52. ONAY EO, ORUCOGLU H, KIREMITCI A et coll.**  
Effect of Er,Cr:YSGG laser irradiation on the apical sealing ability of AH Plus/gutta-percha and Hybrid Root Seal/Resilon Combinations.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2010;**110**(5):657-664.
- 53. PARKER S.**  
Laser regulation and safety in general dental practice.  
Br Dent J 2007;**202**(9):523-532.
- 54. PEETERS HH et SUARDITA K.**  
Efficacy of smear layer removal at the root tip by using ethylenediaminetetraacetic acid and erbium, chromium: yttrium, scandium, gallium garnet laser.  
J Endod 2011;**37**(11):1585-1589.
- 55. PERTOT WJ et SIMON S.**  
Le traitement endodontique. Collection Réussir.  
Paris : Quintessence International, 2004.

- 56. RAYMOND NG, SINGH F, PAPAMANOU DA et coll.**  
Endodontic photodynamic therapy ex vivo.  
J Endod 2011;**37**(2):217-222.
- 57. ROCCA JP, VOHA C, MEDIONI E et BRULAT-BOUCHARD E.**  
Endodontie laser assistée.  
Réal Clin 2012;**23**:115-123.
- 58. SCHOOP U, BARYLYAK A, GOHARKHAY K et coll.**  
The impact of an erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser with radial-firing tips on endodontic treatment.  
Lasers Med Sci 2009;**24**(1):59-65.
- 59. SCHOOP U, GOHARKHAY K, KLIMSCHA J et coll.**  
The use of the erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser in endodontic treatment: the results of an in vitro study.  
J Am Dent Assoc 2007;**138**(7):949-955.
- 60. SILVA AC, GUGLIELMI C, MENEGUZZO DT et coll.**  
Analysis of permeability and morphology of root canal dentin after Er,Cr:YSGG laser irradiation.  
Photomed Lasers Surg 2010;**28**(1):103-108.
- 61. SILVA LA, NOVAES AB JR, DE OLIVEIRA RR et coll.**  
Antimicrobial photodynamic therapy for the treatment of teeth with apical periodontitis: a histopathological evaluation.  
J Endod 2012;**38**(3):360-366.
- 62. SIMON S et PERTOT WJ.**  
Endodontie. Volume 1 : Traitements. Collection Méméto.  
Paris : CdP, 2008.
- 63. SOUZA LC, BRITO PR, DE OLIVEIRA JC et coll.**  
Photodynamic therapy with two different photosensitizers as a supplement to instrumentation/irrigation procedures in promoting intracanal reduction of *Enterococcus faecalis*.  
J Endod 2010;**36**(2):292-296.
- 64. VARELLA CH et PILEGGI R.**  
Obturation of root canal system treated by Cr, Er: YSGG laser irradiation.  
J Endod 2007;**33**(9):1091-1093.

**65. VIAPIANA R, SOUSA-NETO MD, SOUZA-GABRIELAE et coll.**

Microhardness of radicular dentin treated with 980-nm diode laser and different irrigant solutions.

Photomed Laser Surg 2012;**30**(2):102-106.

**66. WANG QQ, ZHANG CF et YIN XZ.**

Evaluation of the bactericidal effect of Er,Cr:YSGG, andNd:YAG lasers in experimentally infected root canals.

J Endod 2007;**33**(7):830-832.

**67. XIAOGANG G, GUAN S, LU H et coll.**

Evaluation of the Bactericidal Effect of Nd:YAG, Er:YAG, Er,Cr:YSGG Laser Radiation, and Antimicrobial Photodynamic Therapy (aPDT) in Experimentally Infected Root Canals.

Lasers Surg Med 2012;**44**(10):824–831.

**68. YASUDA Y, KAWAMORITA T, YAMAGUCHI H et SAITO T.**

Bactericidal effect of Nd:YAG and Er:YAG lasers in experimentally infected curved root canals.

Photomed Laser Surg 2010;**28**(suppl 2):75-78.

**69. YAVARI HR, RAHIMI S, SHAHI S et coll.**

Effect of Er, Cr: YSGG laser irradiation on Enterococcus faecalis in infected root canals.

Photomed Laser Surg 2010;**28**(suppl 1):91-96.

**70. YOUNG MM, KIM HC, BAE SH et coll.**

Effect of Laser-activated Irrigation of 1320-Nanometer Nd:YAG Laser on Sealer Penetration in Curved Root Canals.

J Endod 2012;**38**(4):531-535.

## Table des illustrations :

Figure n°1 : L'absorption.....	12
Figure n°2 : L'émission spontanée.....	13
Figure n°3 : L'émission stimulée.....	13
Figure n°4 : Composition d'un laser.....	14
Figure n°5 : Interactions du faisceau laser avec le milieu.....	15
Figure n°6 : Laser Smarty A10, DEKA, Firenze, Italie.....	16
Figure n°7 : KEY Laser 3+, KaVo, Allemagne.....	17
Figure n°8 : Waterlase Millennium, Biolase Tech., Etats-Unis.....	18
Figure n°9 : LaserHF, Hager Werken, Allemagne.....	19
Figure n°10 : Affichage obligatoire sur la salle de soins.....	20
Tableau n°1 : Analyse des études.....	22
Figure n°11 : Classement des études.....	24
Figure n°12 : Préparation canalaire par le laser Nd:YAP, cas clinique du Pr Jean, Nantes.....	26
Figure n°13 : Observation de tubules dentinaires ouverts au microscope électronique, Dr Armengol, Nantes.....	29
Tableau n°2 : Propriétés et applications des lasers utilisés en endodontie.....	36

**BRILLANT (Matthias).** – Applications cliniques des lasers en endodontie. - 48 f. ; tabl. ; 70 ref. ; 30 cm. (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2005)

#### RESUME

Récemment, les applications cliniques des lasers en endodontie font l'objet de nombreuses publications.

Les principaux lasers utilisés en endodontie sont les Nd:YAG, Er:YAG, Er,Cr:YSGG et le laser diode.

Nous avons ici sélectionné 64 articles, de 2007 à 2012, étudiant les possibilités thérapeutiques des lasers dans le champ de l'endodontie.

La préparation canalaire, les modifications des surfaces, l'action bactéricide, l'irrigation activée par le laser et la désinfection photoactive sont abordés.

Les lasers apparaissent comme un adjuvant efficace aux techniques standards, mais le niveau de preuve est actuellement insuffisant.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Odontologie / Endodontie

#### MOTS CLES MESH

Thérapie laser – Laser therapy

Endodontie – Endodontics

Traitement de canal radiculaire – Root canal therapy

Photothérapie dynamique - Photochemotherapy

#### JURY

Président : Professeur Jean A.

Assesseur : Docteur Marion D.

Directeur : Docteur Armengol V.

Assesseur : Docteur Castelot-Enkel B.