

THESE

***POUR OBTENIR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE***

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille
(Doyen : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

Aix-Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Intérêts du laser en implantologie orale

Présentée par

MANGEOT Marie

Née le 27 Octobre 1993

A Aix-en-Provence

Thèse soutenue le **Vendredi 28 février 2020**

Devant le jury composé de

Président : Professeur RUQUET Michel

Assesseurs : Docteur TAVITIAN Patrick

Docteur ROCHE-POGGI Philippe

Docteur HADJ SAÏD Mehdi

THESE

***POUR OBTENIR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE***

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille
(Doyen : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

Aix-Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Intérêts du laser en implantologie orale

Présentée par

MANGEOT Marie

Née le 27 Octobre 1993

A Aix-en-Provence

Thèse soutenue le **Vendredi 28 février 2020**

Devant le jury composé de

Président : Professeur RUQUET Michel

Assesseurs : Docteur TAVITIAN Patrick

Docteur ROCHE-POGGI Philippe

Docteur HADJ SAÏD Mehdi

ADMINISTRATION

Mise à jour : janvier 2020

Doyens Honoraires

Professeur	Raymond SANGIUOLO†
Professeur	Henry ZATTARA
Professeur	André SALVADORI
Professeur	Jacques DEJOU

Doyen Assesseurs

Professeur	Bruno FOTI
Professeur	Michel RUQUET
Professeur	Anne RASKIN

Directeurs de Départements

Formation Initiale	Professeur	Michel RUQUET
Recherche	Professeur	Anne RASKIN
Formation Continue	Professeur	Frédéric BUKIET

Charges de missions

Relations Internationales	Professeur	Hervé TASSERY
Internat et Diplômes d'études spécialisées	Professeur	Virginie MONNET-CORTI
Affaires générales	Docteur	Patrick TAVITIAN

Responsable des Services Administratifs et Techniques

Madame	Katia LEONI
--------	-------------

LISTE DES ENSEIGNANTS

PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD

BUKIET Frédéric (58-01)
FOTI Bruno (56-02)
MONNET-CORTI Virginie (57-01)
ORTHLIEB Jean-Daniel (58-01)
RASKIN Anne (58-01)
RUQUET Michel (58-01)
TARDIEU Corinne (56-01)
TARDIVO Delphine (56-02)
TASSERY Hervé (58-01)

PROFESSEUR DES UNIVERSITES

ABOUT Imad (65)

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD

ABOUDHARAM Gérard (58-01)	LAN Romain (57-01)
BANDON Daniel (56-01)	LAURENT Michel (58-01)
BELLONI Didier (57-01)	LAURENT Patrick (57-01)
BOHAR Jacques (56-01)	LE GALL Michel (56-01)
CAMOIN Ariane (56-01)	MAILLE Gérald (58-01)
CAMPANA Fabrice (57-01)	PHILIP-ALLIEZ Camille (56-01)
CATHERINE Jean-Hugues (57-01)	POMMEL Ludovic (58-01)
ERARD-MAGNO Elisabeth (56-01)	PRECKEL Bernard-Éric (58-01)
GAUBERT Jacques (56-01)	RÉ Jean-Philippe (58-01)
GIRAUD Thomas (58-01)	ROCHE-POGGI Philippe (57-01)
GIRAUDEAU Anne (58-01)	STEPHAN Grégory (58-01)
GUIVARC'H Maud (58-01)	TAVITIAN Patrick (58-01)
JACQUOT Bruno (58-01)	TERRER Elodie (58-01)
LABORDE Gilles (58-01)	TOSELLO Alain (58-01)

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES ASSOCIES

BLANCHET Isabelle (56-01)
MENSE Chloé (58-01)

ASSISTANTS HOSPITALIERS ET UNIVERSITAIRES

AL AZAWI Hala (56-01)	HAHN-GOLETTI Larissa (58-01)
ANTEZACK Angeline (57-01)	LIOTARD Alica (58-01)
BACHET-DORISON Damienne (56-01)	MANSUY Charlotte (58-01)
BALLESTER Benoît (58-01)	MARTIN William (56-01)
BARBERO Magali (56-01)	MATTERA Rémi (56-01)
CAMBON Isabelle (56-01)	MELLOUL Sébastien (57-01)
CASAZZA Estelle (56-01)	PARFU Anne (58-01)
CASTRO Romain (57-01)	PASCHEL Laura (58-01)
DAVID Laura (56-01)	PILLIOL Virginie (58-01)
DEVICTOR Alix (58-01)	REPETTO Andréa (58-01)
DODDS Mélina (58-01)	ROMANET Yvan (57-01)
DRAUSSIN Thierry (56-02)	SANTUNIONE Charlotte (58-01)
DUMAS Cathy (57-01)	SILVESTRI Frédéric (58-01)
HADJ-SAID Medhi (57-01)	VINAÏ Michael (56-01)

ASSISTANTS DES UNIVERSITES ASSOCIES

HOUVENAEGHEL Brice (57-01)
LE FOURNIS Chloé (57-01)

Intitulés des sections CNU :

- 56^{ème} section : Développement, croissance et prévention
 - 56-01 Odontologie pédiatrique et orthopédie dento-faciale
 - 56-02 : Prévention – Epidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale
- 57^{ème} section : Chirurgie orale ; Parodontologie ; Biologie Orale
 - 57-01 : Chirurgie orale – Parodontologie – Biologie orale
- 58^{ème} section : Réhabilitation orale
 - 58-01 : Dentisterie restauratrice – Endodontie – Prothèses – Fonction-Dysfonction – Imagerie – Biomatériaux

L'auteur s'engage à respecter les droits des tiers, et notamment les droits de propriété intellectuelle. Dans l'hypothèse où la thèse comporterait des éléments protégés par un droit quelconque, l'auteur doit solliciter les autorisations nécessaires à leur utilisation, leur reproduction et leur représentation auprès du ou des titulaires des droits. L'auteur est responsable du contenu de sa thèse. Il garantit l'Université contre tout recours. Elle ne pourra en aucun cas être tenue responsable de l'atteinte aux droits d'un tiers.

A Monsieur le Professeur Michel RUQUET,

Je vous remercie d'avoir accepté la présidence de mon jury de thèse.

Un grand merci pour le soutien et l'accompagnement dont vous avez fait preuve durant ces années d'études. La qualité de votre enseignement et vos conseils précieux ont permis de me faire grandement progresser dans cette discipline.

Veillez trouver ici l'expression de ma profonde reconnaissance, c'est un honneur pour moi de vous avoir à mes côtés en ce jour si particulier.

A Monsieur le Docteur Patrick TAVITIAN,

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury.

Bien que nos emplois du temps ne nous aient pas offert l'opportunité de travailler ensemble durant ces années cliniques, je vous remercie de l'intérêt que vous avez porté à ce travail.

Veillez recevoir ici le témoignage de mon plus grand respect.

A Monsieur le Docteur Philippe ROCHE-POGGI,

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury.

Merci pour votre bienveillance, votre disponibilité et votre investissement auprès de l'ensemble des étudiants tout au long de ces années d'études. Vous transmettez votre savoir avec passion, c'est une chance d'avoir pu recevoir votre enseignement.

Veillez trouver ici l'expression de ma plus grande admiration.

A Monsieur le Docteur Mehdi HADJ SAÏD,

Un immense merci d'avoir accepté la direction de cette thèse.

Même si ce n'était pas gagné d'avance, tu as toujours su trouver les mots pour me rassurer, m'ôter les doutes et me faire avancer en m'indiquant la bonne direction.

Je ne te remercierai jamais assez pour ton implication, ta disponibilité, ton efficacité et tout ce que tu m'as apporté au cours de la rédaction de cette thèse.

A tes cotés je me suis sentie valorisée, encouragée et soutenue, et je suis fière aujourd'hui de la qualité du travail que nous avons rendu ensemble.

Merci infiniment pour la confiance que tu m'as accordée.

A mes parents et (beaux) parents,

Ça y est, on y est ! Merci de m'avoir toujours soutenue et d'avoir toujours cru en ma réussite durant ces longues années d'études. Je me revois encore en train de réciter les textes de sciences U pendant des heures au téléphone avec toi maman, ou faire des crises de pleurs avec toi papa en disant que j'allais tout arrêter... Vous avez toujours su me redonner la motivation et la persévérance, grâce à vos conseils et votre écoute si précieuse, je vous en remercie infiniment. J'espère avoir réussi à vous rendre fiers aujourd'hui, je vous aime fort.

A mes frères,

Robin, Enzo, Nollan, vous grandissez si vite... Je suis la plus heureuse des sœurs de vous avoir tous les trois à mes côtés aujourd'hui, et je suis si fière des petits hommes que vous devenez. Je serai toujours là pour vous, je vous aime.

A mes grands-parents,

Mamie Nanou, Papy, Mamyliène, j'ai une grosse pensée pour vous qui êtes loin aujourd'hui. Merci pour tout votre amour et votre soutien depuis toujours.

A toi mon Didou,

Je ne pourrai jamais assez te remercier d'avoir toujours cru en moi... Ce travail fût long et laborieux, mais à tes côtés, je peux dire aujourd'hui que j'ai réussi. Merci d'être mon amoureux, je suis si fière d'être dans ton équipe. A toute cette vie qui nous attend, ces voyages qui nous font rêver, ces moments de complicité partagés, et ce jardin qu'on s'est promis.

Je t'aime au moins 8000.

La meilleure des meilleures, *qui aurait cru qu'on y arriverait un jour... ! Je nous revois encore au collège, à tomber amoureuses de la terre entière, à s'écrire des mots tous les jours, à passer des heures et des heures accrochées au téléphone fixe ou sur Msn à refaire le monde... Et depuis, rien n'a changé. Merci infiniment d'avoir toujours été là, je suis si fière d'avoir parcouru toutes ces années à tes côtés. J'ai tellement de chance d'avoir la meilleure amie du monde.*

PS : Bisous à BBBerlioz

Mes princesses, *Jenny, Marion, les années sont passées si vite depuis cette fameuse mallette rouge... ! A tous nos moments partagés, nos galères à la clinique, ces veilles d'exams en stress maximal, nos virées shopping improvisées, nos soirées potins de filles, nos fous rires... J'ai toujours pu compter sur vous, merci pour tout, vous êtes des amies en or.*

Nos années Rez', *TT, Ondine, Picut, Vic, Tim, Clemy, c'est là que tout a commencé, les deux plus dures années, mais aussi les plus belles grâce à vous. A tous nos rires et nos larmes, vous me manquez les bébés.*

Clem, *Choupi, merci pour toutes ces années où j'ai pu compter sur toi comme un frère. Je suis fière de pouvoir partager ce moment avec toi.*

La Team, *Matt, PNL, Baba, Marion, Chris et Margaux, quelle belle rencontre... Je suis si heureuse que la famille s'agrandisse, merci pour tous ces moments passés ensemble. A toutes nos futures vacances, nos fous rires, et nos changements d'années partagés.*

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	1
2	LA TECHNOLOGIE LASER	2
2.1	Historique.....	2
2.2	Qu'est-ce que la lumière ?.....	3
2.2.1	Comment caractériser la lumière ?.....	4
2.2.2	La dualité onde-corpuscule	5
2.3	Spécificités de la lumière laser	5
2.4	Emission spontanée et émission stimulée	6
2.4.1	L'émission spontanée.....	6
2.4.2	L'émission stimulée.....	7
2.5	Inversion de population et pompage optique	7
2.6	Conception du laser	8
2.6.1	Comment se forme le faisceau laser ?	8
2.6.2	Comment se transmet le faisceau laser à la bouche du patient ?.....	9
2.7	Modes de fonctionnement d'un laser.....	10
2.8	Fluence et densité de puissance	11
2.9	Interactions avec les tissus cibles.....	11
2.9.1	Transmission.....	12
2.9.2	Réflexion	12
2.9.3	Diffusion	12
2.9.4	Absorption.....	12
3	LES DIFFERENTS EFFETS TISSULAIRES	13
3.1	Effet photo-ablatif	13
3.2	Effet photo-acoustique	13
3.3	Effets thermiques	14
3.3.1	L'hyperthermie	14
3.3.2	La coagulation.....	15
3.3.3	La volatilisation.....	15
3.4	Effets photochimiques	15
3.5	Effets biostimulants	16
3.6	Effets mécaniques.....	17
4	LES DIFFERENTS LASERS UTILISES EN ODONTOLOGIE	18
4.1	Lasers diodes ou à semi-conducteurs	18
4.1.1	Caractéristiques techniques	18
4.1.2	Interactions avec les tissus cibles.....	18
4.1.3	Indications du laser diode.....	18
4.1.4	Exemples de lasers diodes.....	18
4.2	Lasers CO ₂	19

4.2.1	Caractéristiques techniques	19
4.2.2	Interactions avec les tissus cibles.....	19
4.2.3	Indications du laser CO ₂	19
4.2.4	Exemple de lasers CO ₂	19
4.3	Laser Nd-YaG	20
4.3.1	Caractéristiques techniques	20
4.3.2	Interactions avec les tissus cibles.....	20
4.3.3	Indications du laser Nd-YAG	20
4.3.4	Exemples de lasers Nd-YAG.....	20
4.4	Laser Nd-YAP	21
4.4.1	Caractéristiques techniques	21
4.4.2	Interactions avec les tissus cibles.....	21
4.4.3	Indications du laser Nd-YAP.....	21
4.4.4	Exemple de laser Nd-YAP.....	21
4.5	Lasers Er-YaG	22
4.5.1	Caractéristiques techniques	22
4.5.2	Interactions avec les tissus cibles.....	22
4.5.3	Indications du laser Er-YAG	22
4.5.4	Exemples de laser Er-YAG.....	22
4.6	Laser Er,Cr-YSGG	23
4.6.1	Caractéristiques techniques	23
4.6.2	Interactions avec les tissus cibles.....	23
4.6.3	Indications du laser Er,Cr-YSGG.....	23
4.6.4	Exemple de laser Er, Cr-YSGG.....	23
4.7	Tableau récapitulatif de tous les lasers utilisés en odontologie.....	24
4.8	Sécurité des lasers.....	25
4.8.1	Risques liés au faisceau laser	25
4.8.2	Risques non liés au faisceau.....	26
5	UTILISATIONS CLINIQUES DES LASERS EN IMPLANTOLOGIE : REVUE SYSTEMATIQUE DE LA LITTERATURE	27
5.1	Objectifs	27
5.2	Matériels et méthodes	27
5.2.1	Protocole.....	27
5.2.2	Design de l'étude et critères d'inclusion.....	27
5.2.3	Stratégie de la recherche d'articles	27
5.2.4	Sélection des articles	28
5.2.5	Collecte de données.....	28
5.2.6	Risque de biais.....	29
5.3	Résultats	29
5.3.1	Sélection des études.....	29

5.3.2	Laser et chirurgie pré-implantaire	30
5.3.3	Laser pendant la première phase implantaire.....	34
5.3.4	Laser pendant la deuxième phase implantaire	46
5.3.5	Laser et péri-implantites	52
6	CONCLUSION.....	61
7	TABLE DES ILLUSTRATIONS	A
8	LISTE DES TABLEAUX.....	B
9	BIBLIOGRAPHIE	I

1 INTRODUCTION

L'acronyme LASER signifie « Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation », c'est-à-dire « Amplification lumineuse par émission stimulée de rayonnement ». On en doit la première démonstration au physicien américain Théodore Maiman, qui a réussi à obtenir en 1960 l'émission d'un faisceau laser à partir d'un cristal de rubis. Cette technologie a depuis connu un essor fantastique, et ce, dans de nombreux domaines.

L'évolution et l'amélioration de cette technologie donnent ainsi accès à un large champ d'applications, dans le domaine de la médecine notamment, et plus particulièrement ici en odontologie.

On remarque que l'implantologie orale moderne est née en même temps que les travaux de Théodore Maiman, avec les découvertes dans la fin des années 1960 du « père de l'implantologie » : l'orthopédiste suédois Per Ingvar Brånemark, qui a laissé en héritage une discipline en perpétuelle évolution, en amélioration constante.

L'objectif de cette thèse était de faire une revue systématique de la littérature sur une question large et complexe : la technologie laser a-t-elle un intérêt dans la pratique de l'implantologie ?

Pour répondre à cette question, nous avons exposé dans un premier temps les notions fondamentales sur lesquelles reposent la technologie laser, puis passé en revue les différents types de lasers utilisés en odontologie ainsi que leurs effets tissulaires.

Dans un second temps, nous avons construit 6 questions auxquelles nous avons tenté de répondre grâce à une revue systématique de la littérature : (1) Dans quelles indications et pour quels bénéfices utiliser le laser en chirurgie pré-implantaire ? ; (2) Pendant la première phase implantaire ? ; (3) Pendant la deuxième phase implantaire ? ; (4) Quels sont les effets de la photothérapie de faible intensité sur la néoformation osseuse ? ; (5) Sur la stabilité implantaire primaire ? ; Et enfin, (6) Le laser est-il un outil efficace dans le traitement des péri-implantites ?

2 LA TECHNOLOGIE LASER

2.1 Historique

Avec sa théorie de l'électromagnétisme publiée en 1864, Maxwell remet en cause pour la première fois les connaissances jusqu'ici admises sur la nature de la lumière, en affirmant que cette dernière est une onde électromagnétique. [1]

Une onde électromagnétique est une onde périodique qui propage des variations de champs magnétique et électrique. Elle a la propriété de se propager en ligne droite dans un milieu homogène et isotrope. L'onde lumineuse possède une vitesse constante dans le vide, égale à 3.10^8 m / s.

A la fin du 19^e siècle, Thomson a découvert que la matière contient des charges ponctuelles, les électrons. [2] Et trois ans plus tard, en 1900, Max Planck, quant à lui, découvre que des échanges d'énergie existent entre lumière et matière, et que ceux-ci peuvent être quantifiés. [3]

Cette découverte permit à Einstein d'établir, en 1917 [4] sa théorie selon laquelle la lumière est faite de « quanta », (qui seront appelés plus tard « photons » par Lewis [5]).

Einstein publia ensuite des travaux sur l'absorption et l'émission de la lumière en décrivant les principes « d'émission spontanée » et « d'émission stimulée ».

Ses recherches sur l'amplification de la lumière constitueront le fondement de la technologie LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). [6]

Avec la naissance de la physique quantique, on affirmera « qu'à une onde au caractère continu, s'associe une particule au caractère discontinu ». Il s'agit de la dualité onde-corpuscule ou l'interaction matière-rayonnement, sur laquelle nous reviendrons plus tard dans notre travail. [6] [7]

Le développement rapide de l'électronique et des connaissances en physique quantique permirent à Kastler de mettre au point la technique de pompage optique en 1949 [8], que nous décrirons plus tard également.

En 1954, Townes se servit de cette innovation pour inventer le premier MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation), qu'on considère comme l'ancêtre du LASER. [9] Ce dispositif permettait d'émettre un faisceau cohérent de micro-ondes, qu'on utilise d'ailleurs toujours aujourd'hui dans le mécanisme des horloges atomiques et en astrophysique. C'était la première fois qu'un rayonnement électromagnétique était amplifié à l'identique.

Une question se posait alors : la lumière visible pouvait-elle aussi être amplifiée ?

Commença alors une « course au laser » à laquelle participèrent de nombreux scientifiques. Maiman réussira en 1960 à mettre au point le premier laser (laser solide avec un cristal de rubis). [10]

Au moment de son invention, le laser n'avait pas d'application concrète mais intéressait déjà de nombreux laboratoires qui étudiaient la possibilité de remplacer le rubis utilisé par Maiman par d'autres matériaux.

La même année, Javan réussit à mettre au point le premier laser à gaz avec un mélange d'hélium et néon. [11]

Dans les années suivantes, un très grand nombre de lasers sont mis au point et leurs performances se sont graduellement améliorées. On peut citer le premier laser semi-

conducteur à diode né des travaux de Holonyak, Basov et Townes en 1962 [12], le premier laser CO₂ développé par Patel en 1964 [13] et le premier laser à liquide inventé par Peter Sorokin en 1966 [14].

Ce n'est finalement qu'à partir de 1970 que le laser trouva son utilité en médecine, en particulier en ophtalmologie (pour le traitement des décollements de rétine par exemple), en dermatologie (exérèse de lésions cutanées, épilation), et en chirurgie (bistouri optique). Son champ d'application s'élargit encore par la possibilité, grâce à une fibre optique, d'introduire le laser dans le canal opérateur d'un endoscope (utilisation en gastroentérologie, ORL, pneumologie etc).

Cette nouvelle technologie s'introduit en dentisterie avec la conception de trois nouvelles technologies de laser :

- Le laser Nd-YAG, constitué d'un cristal « Yttrium Aluminium Garnet » dopé avec une terre rare, le Néodyme, développé en 1964 par Geusic et Smith. [15]
- Le laser Er-YAG constitué d'un cristal « Yttrium Aluminium Garnet » comme le Nd-YAG, mais dopé cette fois-ci à l'Erbium, développé en 1980. [16]
- Le laser Nd-YAP, mis au point par Hubert Guillet en 1994, formé d'un cristal « Yttrium Aluminium Perowskite » dopé comme le Nd-YAG au Néodyme. [16]

Le laser est utilisé dans de nouvelles disciplines, multipliant ses domaines d'application avec le temps.

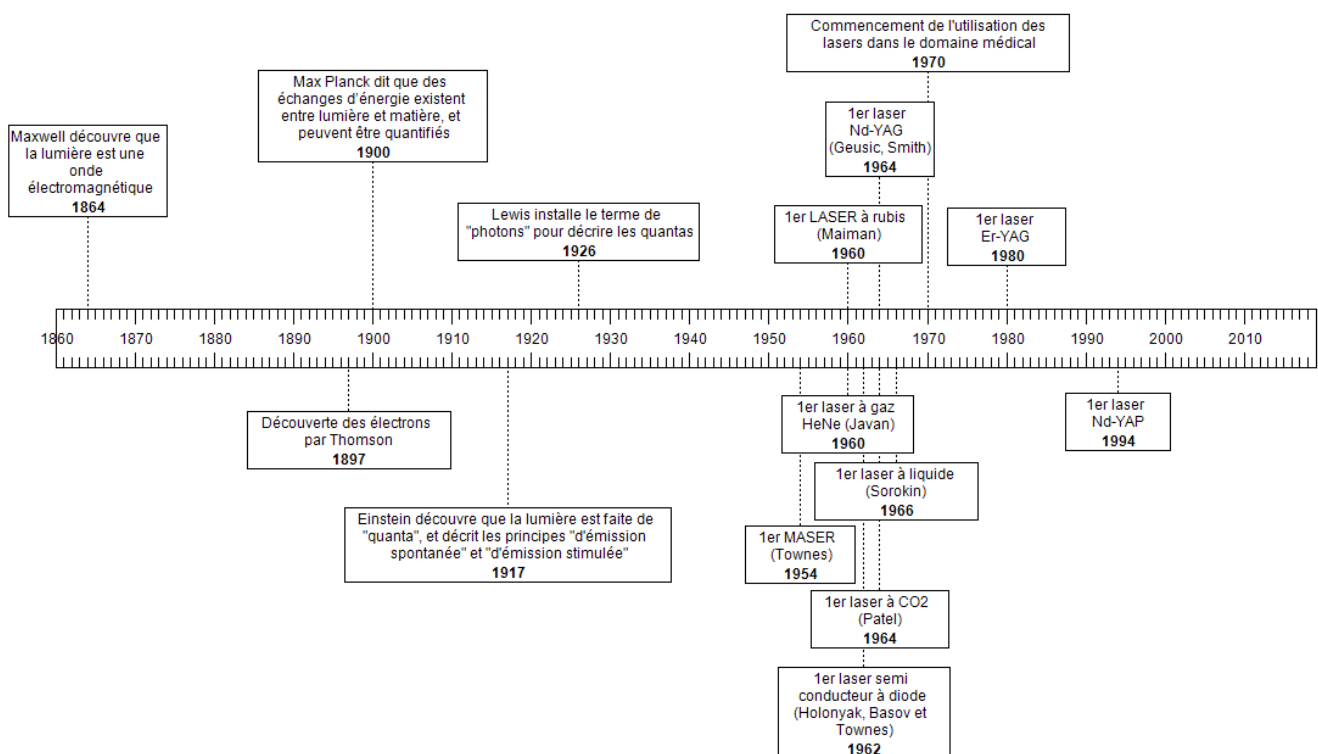


Figure 1: Historique du laser

2.2 Qu'est-ce que la lumière ?

La lumière est une onde électromagnétique, transportant des particules sans masse appelées « photons ».

2.2.1 Comment caractériser la lumière ?

L'onde lumineuse peut être définie par 4 paramètres [7] [17] [18] :

- Son **amplitude A**, correspond à la distance verticale entre le point le plus haut (la crête) et l'axe central des abscisses.
- Sa **période T** (en s), correspond au plus petit intervalle de temps au bout duquel le phénomène ondulatoire se répète identique à lui-même.
- Sa **longueur d'onde λ** (en mètre), correspond à la distance horizontale entre deux crêtes (ou deux creux). Il s'agit de la distance que parcourt l'onde pendant une période T.
- Sa **fréquence ν** (en Hertz, 1Hz = 1 oscillation/sec), correspond au nombre d'oscillations par unité de temps.

On peut les représenter sur la figure suivante :

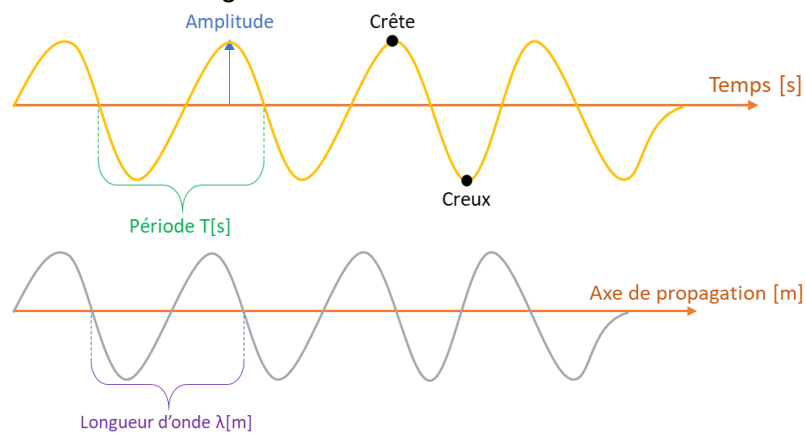


Figure 2: Les grandeurs caractéristiques d'une onde.

La période T et la fréquence ν sont l'inverse l'une de l'autre, et sont reliées par la relation suivante :

$$T = \frac{1}{\nu}$$

Avec :

T : la période en secondes

ν : la fréquence en Hertz

La fréquence et la longueur d'onde sont inversement proportionnelles, plus la longueur d'onde est grande, plus la fréquence sera petite et vice versa. Elles sont reliées par l'équation suivante :

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Avec :

c : la vitesse de la lumière dans le vide = $3,00 \times 10^8$ m/s

ν : la fréquence en Hertz

λ : la longueur d'onde en mètres

Cette relation permet d'affirmer un fait important : tout rayonnement électromagnétique se propage à la vitesse de la lumière dans le vide ($c = 3,00 \times 10^8$ m/s), quelle que soit sa fréquence ou sa longueur d'onde.

2.2.2 La dualité onde-corpuscule

Les travaux de Max Planck en 1900 [18] ont permis d'affirmer que l'énergie n'est pas continue, mais quantifiée. C'est-à-dire qu'elle ne peut être transférée que par « paquets » (quanta) d'énergie.

Un quantum d'énergie représente la plus petite quantité d'énergie pouvant être transférée.

On découvrira quelques années plus tard que la lumière se comporte à la fois comme une onde et comme une particule : c'est la dualité onde-corpuscule, qui s'exprime par le fait que la lumière va présenter des propriétés corpusculaires ou ondulatoires, en fonction des conditions expérimentales :

- La lumière subit les phénomènes de diffraction et d'interférence, qui sont des propriétés caractéristiques des ondes électromagnétiques. Cela justifie alors le caractère ondulatoire de la lumière.
- Par ailleurs, d'autres phénomènes impliquant la lumière (l'effet Compton notamment) n'ont pu être expliqués que par la présence de corpuscules transportant les quantas d'énergie. On parle alors de photons, qui sont les particules élémentaires de lumière, absorbés ou émis par les atomes et les molécules.

Lorsqu'un photon est absorbé par un atome, la totalité de son énergie lui est transférée. Inversement, lorsqu'un atome libère de l'énergie, cela peut se matérialiser par l'émission d'un photon possédant exactement la même quantité d'énergie que celle perdue par l'atome.

Cette énergie peut être quantifiée par la relation suivante :

$$E = h.v$$

Avec :

E : l'énergie du photon absorbé ou émis en Joules

v : la fréquence en Hertz

h : la constante de Planck = $6,626068 \times 10^{-34}$ J.s (Joules par Hertz)

2.3 Spécificités de la lumière laser

La lumière laser se distingue de la lumière blanche par 3 propriétés :

- Elle est **monochromatique** :

Cela signifie que tous les photons ont une même longueur d'onde, à la différence de la lumière du spectre visible par l'humain, qui est une addition de différentes longueurs d'ondes comprises entre le violet (380nm – 449nm) et le rouge (622nm – 700nm). Cette fenêtre (380nm – 700nm) représente la partie visible du spectre électromagnétique.

Le spectre électromagnétique est une bande qui classe tous les rayonnements électromagnétiques existant dans l'univers, en fonction de leurs longueurs d'onde ou de leurs fréquences.

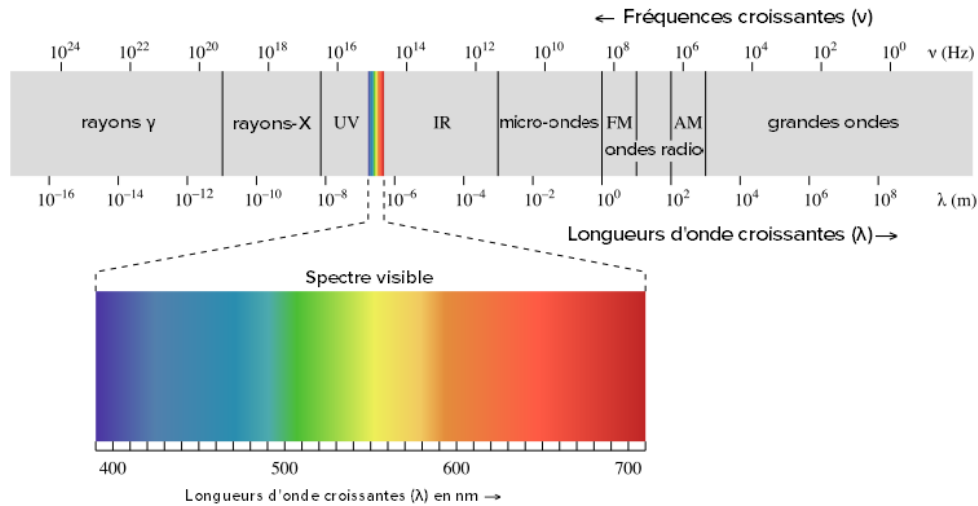


Figure 3 : Le spectre visible dans le spectre électromagnétique [19]

- Ses ondulations sont **cohérentes dans l'espace et dans le temps** : l'amplitude et la fréquence de toutes les vagues de photons sont identiques.

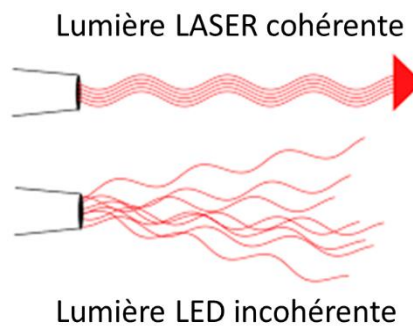


Figure 4 : Schéma illustrant la différence entre le faisceau LASER et LED

- Sa **divergence très faible** : le faisceau laser est unidirectionnel et ne s'élargit que très peu avec la distance, contrairement à la lumière solaire ou artificielle qui émet dans toutes les directions.

2.4 Émission spontanée et émission stimulée

Un atome est formé d'un noyau en son centre, et d'un ou plusieurs électrons gravitant autour de ce noyau. Ces électrons sont placés sur différentes orbites (nommées par des lettres K, L, M...), qui correspondent à différents « niveaux d'énergie » ($E_0, E_1 \dots$).

Pour comprendre le fonctionnement du laser, il faut d'abord se pencher sur deux notions essentielles : l'émission spontanée et l'émission stimulée.

2.4.1 L'émission spontanée

A l'état stable, les électrons sont placés sur leur niveau d'énergie E_0 (état fondamental). Lorsque l'atome reçoit de l'énergie (absorption d'un photon par exemple), les électrons s'éloignent du noyau et se placent sur l'orbite suivante (passage au niveau d'énergie E_1). L'atome se retrouve alors dans un état excité, qui est instable la plupart du temps.

Pour retrouver l'état stable, les électrons vont alors retomber sur l'orbite fondamentale (E_0) en libérant un photon de même énergie que celui qui a été absorbé. C'est l'émission spontanée.

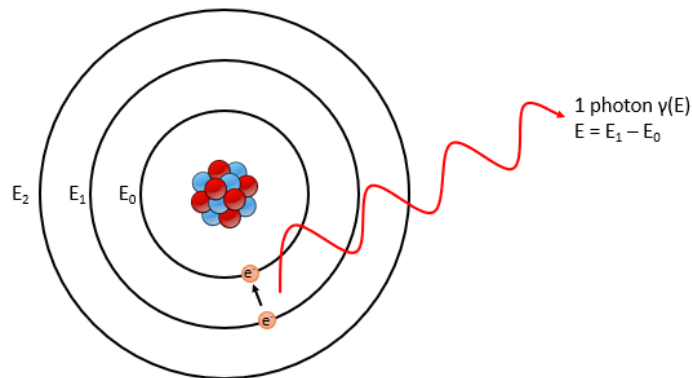


Figure 5 : Phénomène d'émission spontanée

2.4.2 L'émission stimulée

Lorsqu'un atome déjà excité absorbe à nouveau un photon, il devient encore plus instable. Sa désexcitation va générer la libération de 2 photons strictement identiques entre eux et au photon incident, de même énergie et se propageant dans la même direction que celui-ci. C'est l'émission stimulée. [7] [17] [20]

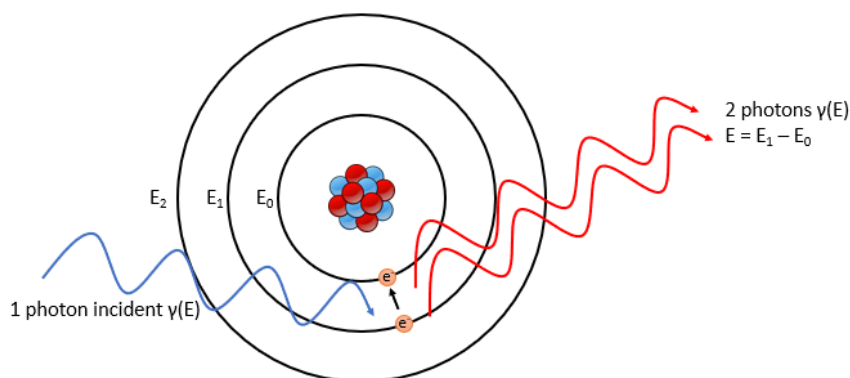


Figure 6 : Phénomène d'émission stimulée

2.5 Inversion de population et pompage optique

L'émission stimulée agit donc comme une « duplication de la lumière ».

Pour donner naissance au faisceau laser, ce phénomène doit être répété de nombreuses fois, créant ainsi une réaction en chaîne (les photons émis par la désexcitation de certains atomes vont alors exciter de nouvelles particules etc.).

Un problème persiste néanmoins. Dans la matière, les particules (atomes, ions ou molécules) sont beaucoup plus nombreuses dans un état stable que dans un état excité. Pour créer et entretenir ce faisceau laser, il faut donc trouver un moyen d'inverser cette tendance, en obtenant plus de particules excitées que de particules stables. C'est ce qu'on appelle l'inversion de population. [21]

Elle est rendue possible par le système de pompage, qui consiste à envoyer de l'énergie sur le milieu actif (particules excitable présentes dans le laser sous forme de gaz, de liquide ou de solide). Ce transfert d'énergie aux atomes va permettre de démarrer la réaction en chaîne d'émission stimulée.

La source d'énergie la plus utilisée pour effectuer l'inversion de population est la lumière, on parle alors de « pompage optique ».

Néanmoins, quelques lasers utilisent un courant électrique ou certaines réactions chimiques comme système de pompage (c'est le cas des lasers diodes).

2.6 Conception du laser

Le laser peut se décomposer en plusieurs éléments :

- Une cavité optique résonnante (appelée aussi oscillateur),
- Un milieu actif, qui peut être un gaz, un liquide ou un solide,
- Une source d'énergie (système de pompage) pour créer l'inversion de population.

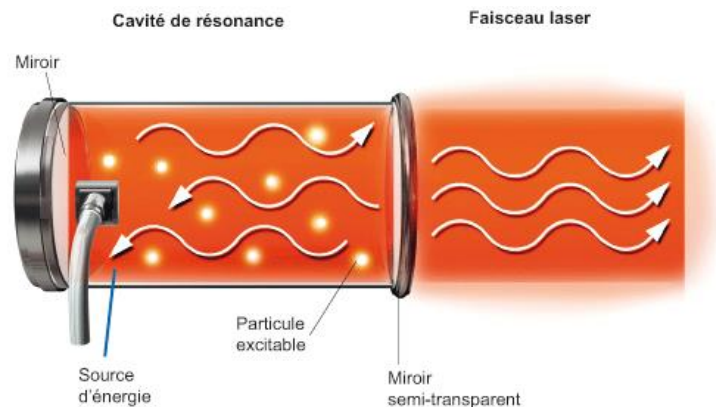


Figure 7 : L'oscillateur laser [21]

L'oscillateur est un cylindre allongé, comportant un miroir à chaque extrémité. L'un est totalement réfléchissant, et le second est semi-transparent. C'est par ce dernier que sort le faisceau laser.

A l'intérieur de cette cavité se trouve le milieu actif. Ce sont ces particules excitées qui vont émettre le rayonnement.

2.6.1 Comment se forme le faisceau laser ?

En envoyant une source d'énergie dans l'oscillateur, le système de pompage va exciter les atomes du milieu actif.

Si l'on se place à l'échelle d'un atome, on va observer l'émission spontanée d'un photon. Considérons que la trajectoire de ce photon est perpendiculaire aux plans des miroirs, s'il rencontre un autre atome excité, il va stimuler l'émission d'un 2^{ème} photon, de même énergie et même direction.

Ce duo de photons va ensuite stimuler une nouvelle émission chez un autre atome excité, ce qui va agrandir le groupe de photons identiques, et ainsi de suite jusqu'à ce que le groupe rencontre le miroir. Le groupe de photons va alors être réfléchi, et renvoyé dans la direction opposée. La réaction en chaîne continue, ajoutant de plus en plus de photons au groupe de départ.

Le milieu étant constamment excité par le système de pompage, les émissions stimulées produisent de plus en plus de photons à chaque passage entre les miroirs : la lumière laser est donc amplifiée.

Nous avons vu que l'un des miroirs est partiellement transparent. Lorsque le groupe de photons va le rencontrer, la plupart seront réfléchis et renvoyés en sens inverse, alors que certains traverseront le miroir. C'est la naissance du faisceau laser.

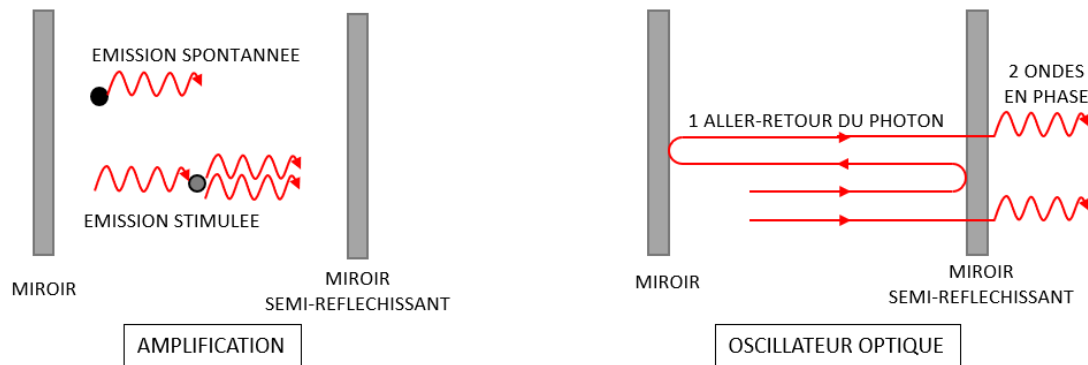


Figure 8 : Naissance du faisceau laser

2.6.2 Comment se transmet le faisceau laser à la bouche du patient ?

En dentisterie, l'oscillateur laser est contenu la plupart du temps, dans une tour (souvent un chariot à roulettes) muni d'un écran de commandes.

Pour faire le lien entre l'oscillateur et la zone à traiter, un système de transmission est nécessaire. Il en existe deux types [22] :

- **Le bras articulé** : il est constitué d'une succession de miroirs, qui conduisent le faisceau laser jusqu'à un système optique qui le focalise sur la cible à traiter. C'est un système très encombrant et peu ergonomique car les mouvements sont limités par les articulations du bras. On utilise ce mode de transmission lorsqu'il n'y a pas d'autres alternatives (nous verrons que c'est le cas pour le laser à CO₂).

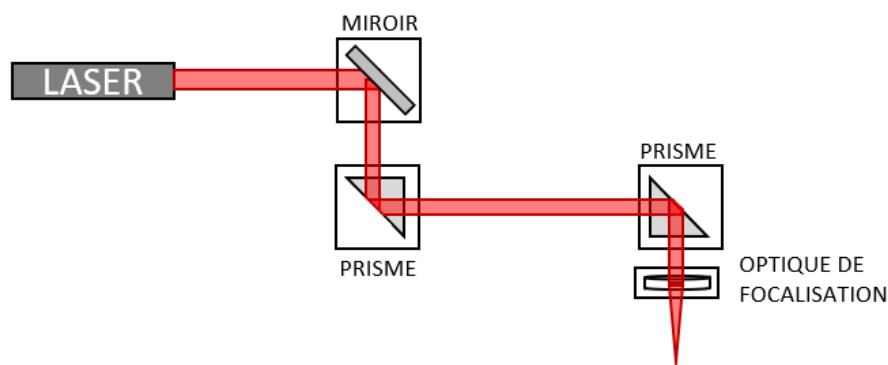


Figure 9 : Composition d'un bras articulé

- **La fibre optique** : c'est un câble constitué d'un cœur (généralement en silice) transportant le faisceau laser, entouré d'une gaine optique, elle-même entourée d'une gaine protectrice en plastique. La propagation du faisceau à l'intérieur de la fibre est rendue possible grâce au phénomène de réflexion totale interne, que nous choisirons de ne pas détailler.

La fibre optique est le système de transmission le plus adapté à la pratique dentaire car elle est très fine, ce qui lui confère une grande précision et maniabilité.

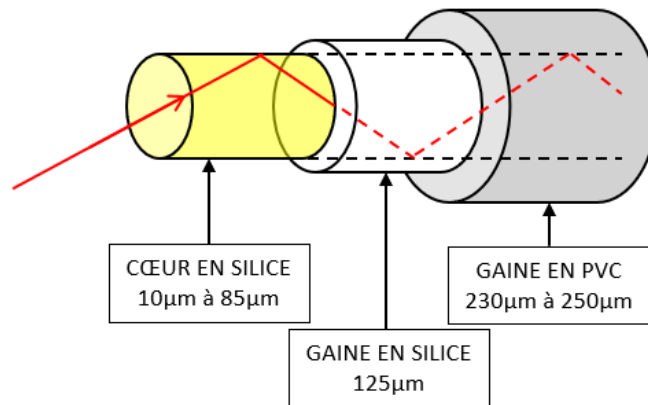


Figure 10 : Composition d'une fibre optique

2.7 Modes de fonctionnement d'un laser

Il existe plusieurs modes de fonctionnement d'un laser :

- **Le mode continu** : la source d'énergie (pompage optique, électrique ou chimique) est continue, et on obtient une puissance constante. C'est un obturateur en dehors de la cavité qui détermine le temps de tir. La puissance est de 1 à 10W.
- **Le mode impulsionnel relaxé** : c'est le système de pompage du laser qui détermine le temps de l'impulsion. La puissance est de 100W à 1kW.
- **Le mode impulsionnel déclenché** : c'est un « Q-switch » placé dans la cavité du laser qui contrôle l'émission. La puissance est de 1 à 10MW.

Parmi les 3 modes de fonctionnement présentés ci-dessus, ce sont les deux derniers qui sont le plus utilisés en chirurgie. En effet le mode impulsionnel permet, par nature, de connaître avec précision la quantité d'énergie envoyée lors de chaque « tir ».

De plus, il est possible d'atteindre, pendant une période très courte, une puissance plus importante que celle émise lors d'un fonctionnement en mode continu. [23]

En effet, dans le cas des lasers impulsionnels, il faut différencier :

- La puissance moyenne délivrée, qui prend en compte les intervalles de temps entre chaque tir,
- La puissance de crête, qui est la puissance maximale atteinte lors d'une impulsion. [21]

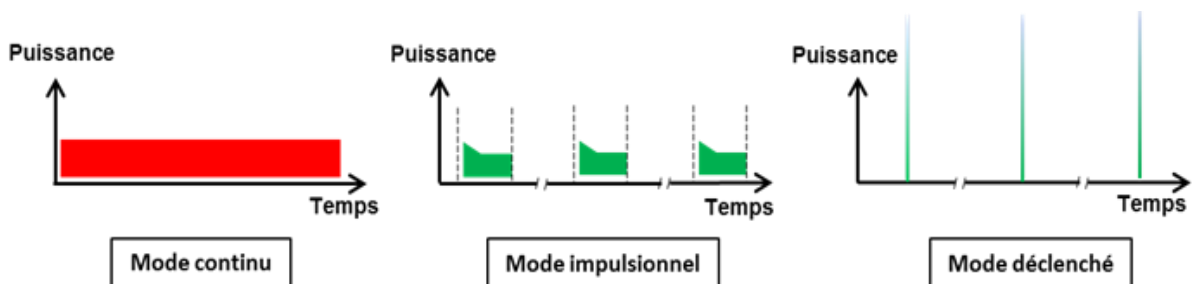


Figure 11 : Les modes d'émission des lasers : mode continu, mode impulsionnel et mode déclenché [23]

2.8 Fluence et densité de puissance

Les effets tissulaires obtenus lors d'un traitement laser (abordés dans le §3) sont directement liés à la quantité d'énergie reçue par ces tissus.

Cette dernière est caractérisée par une grandeur physique appelée fluence.

Elle s'exprime en J/cm^2 , correspondant ainsi à une quantité d'énergie par unité de surface. [7]

La fluence peut être obtenue en multipliant la densité de puissance (énergie délivrée à la cible par seconde et par unité de surface – en $J.s^{-1}.cm^{-2}$) par le temps d'application.

L'opérateur est en mesure de maîtriser la quantité d'énergie appliquée aux tissus, en fonction de l'effet recherché, de la qualité des tissus impactés et des zones anatomiques importantes ou fragiles adjacentes, via plusieurs paramètres. [24]

- Paramètres réglables sur la machine :
 - La fréquence des tirs (en Hertz)
 - L'intensité des tirs (en milli joules)
 - Le produit de ces deux paramètres nous donne la puissance de tir, en Watt.
- Paramètres dépendants directement de l'opérateur :
 - Le temps d'exposition aux tirs
 - La distance entre les tissus cibles et la source d'énergie
 - L'angulation du faisceau laser

Il est essentiel pour l'utilisateur de connaître l'influence et l'impact de ces 5 paramètres sur le traitement par laser. En effet, leur maîtrise permet d'influer sur les tissus à l'échelle de quelques dizaines de microns. Une formation spécifique est donc nécessaire avant d'utiliser un laser en pratique quotidienne.

L'objectif de l'utilisation du laser dans le milieu médical réside dans la modification des tissus cibles. Cependant, quel que soit le domaine médical dans lequel le laser est employé, il est essentiel de comprendre comment ce dernier impacte les tissus.

2.9 Interactions avec les tissus cibles

Il existe 4 formes d'interactions tissulaires avec le faisceau laser : la transmission, la réflexion, la diffusion, et enfin l'absorption.

Le schéma ci-dessous illustre les 4 interactions possibles.

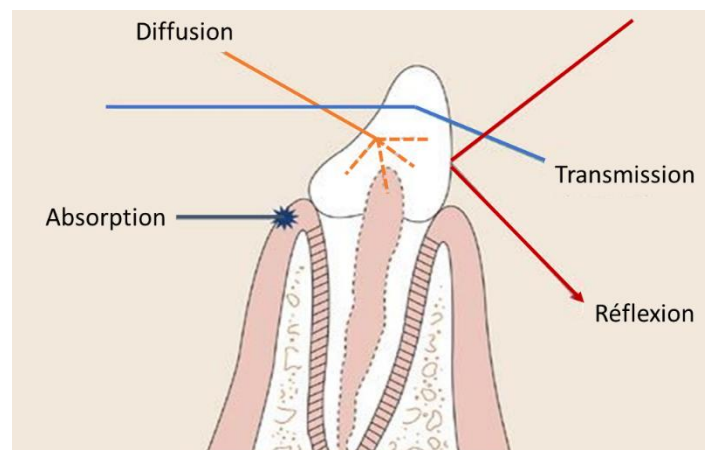


Figure 12 : Représentation des 4 types d'interaction laser – tissus [25]

2.9.1 Transmission

Le faisceau laser entre dans le tissu, mais il n'y a pas d'interaction avec le milieu. Il pourra émerger à distance, en étant inchangé ou partiellement réfracté. [25]

2.9.2 Réflexion

Lorsqu'un faisceau de lumière passe d'un milieu à l'autre, (d'indice différent), une partie de ce faisceau est réfléchi au niveau de la frontière entre ces deux milieux, puis se disperse. L'énergie se dissipe alors rapidement, ne produisant aucun dommages alentours. [25]

2.9.3 Diffusion

Le phénomène de diffusion est une dispersion des photons induite par les molécules présentes dans le milieu.

Cela réduit alors leur efficacité de progression jusqu'à la cible, limitant ainsi la conversion en énergie thermique ainsi que l'effet thérapeutique. [25] [26]

2.9.4 Absorption

L'énergie incidente du faisceau laser est absorbée par le milieu et est convertie en une autre forme d'énergie (la plupart du temps thermique, parfois mécanique). Plus l'absorption du rayon lumineux par le milieu est forte, plus son action reste superficielle. A l'inverse une faible absorption permettra une action plus pénétrante.

A la différence du phénomène de diffusion, le phénomène d'absorption est fondamental pour obtenir un effet thérapeutique. Le coefficient d'absorption du tissu irradié, et donc la quantité d'énergie absorbée par ce dernier, sont directement liés à sa constitution et à la longueur d'onde du rayon incident. [25] [26]

Sont représentées ci-après les courbes d'absorption dans les 4 constituants principaux : l'hémoglobine, la mélanine, l'hydroxyapatite et l'eau.

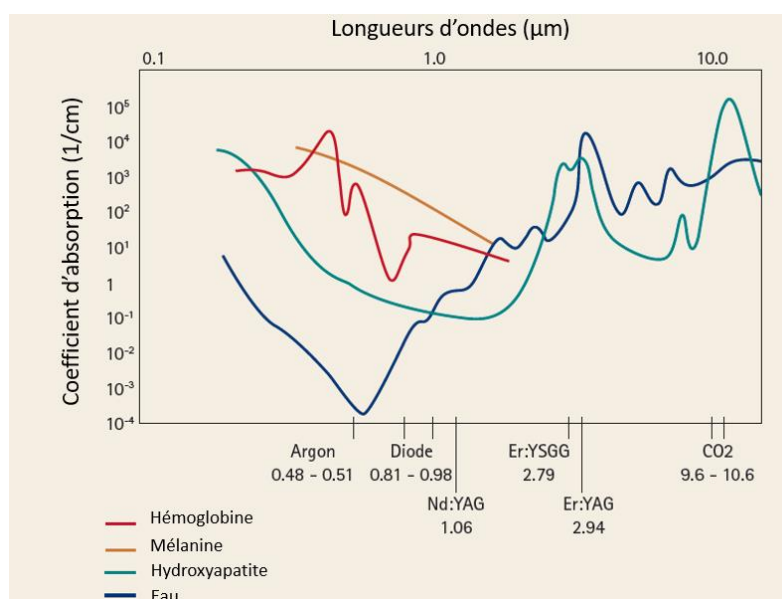


Figure 13 : Courbes d'absorption des différents lasers dans l'hémoglobine, la mélanine, l'hydroxyapatite et l'eau [23]

3 LES DIFFERENTS EFFETS TISSULAIRES

3.1 Effet photo-ablatif

Le principe de l'effet photo-ablatif réside dans l'utilisation de photons dont l'énergie est supérieure à l'énergie de liaisons des molécules constitutives du tissu impacté.

Ces photons, d'une énergie de l'ordre de quelques électronvolts, provoquent une rupture de la matière et une expulsion des fragments à une vitesse très élevée.

L'opération s'effectue par soustraction de matière, de l'ordre de quelques centièmes de millimètre par seconde. [27]

Cette propriété donne accès à une précision décuplée par rapport aux outils conventionnels (scalpels) sur les tissus les plus fins, sans lésions thermiques sur les berges et ouvre ainsi une nouvelle voie en matière de microchirurgie. [28]

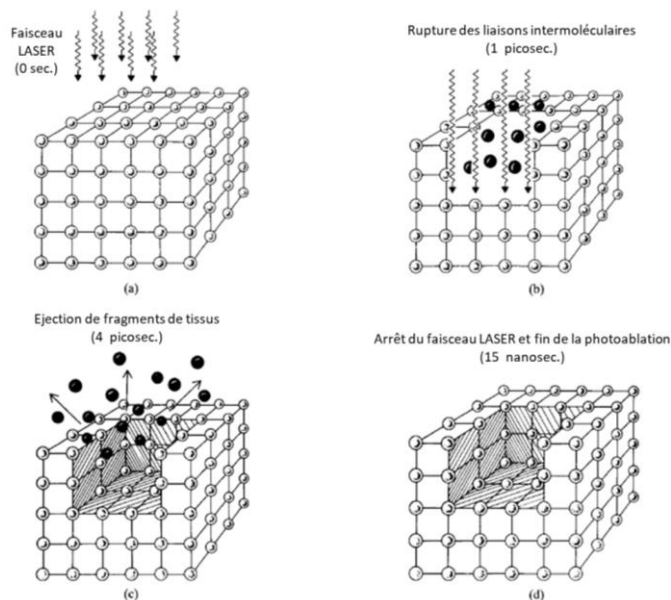


Figure 14 : Principe d'action de la photo-ablation [29]

3.2 Effet photo-acoustique

L'effet photo-acoustique accompagne l'effet photo-ablatif. En effet, la série d'explosions à l'origine de l'effet photo-ablatif, va générer des ondes de choc, c'est l'effet photo-acoustique. Contrairement à la photo-ablation, l'effet photo-acoustique se propage dans toutes les directions autour de l'impact du faisceau laser.

Ses principaux effets sont la déstabilisation des biofilms bactériens, l'agitation des solutions d'irrigation et la biostimulation dans une certaine mesure.

Ce phénomène permet de nettoyer très précisément les espaces restreints (comme les spires implantaires par exemple) qui sont inaccessibles à l'instrumentation conventionnelle. [28]

L'effet photo-acoustique est retrouvé notamment dans le laser Er-YAG, ce qui lui confère des propriétés antiseptiques très intéressantes.

Les biofilms constituant la niche protectrice des micro-organismes comportent une forte charge hydrique, ce qui les rend vulnérables à l'irradiation du laser Er-YAG.

En effet, après l'irradiation les chaînes hydratées sont détruites et on observe une désorganisation totale de l'homéostasie microbienne. Les micro-organismes se retrouvent isolés, et deviennent accessibles à notre système de défense. [30]

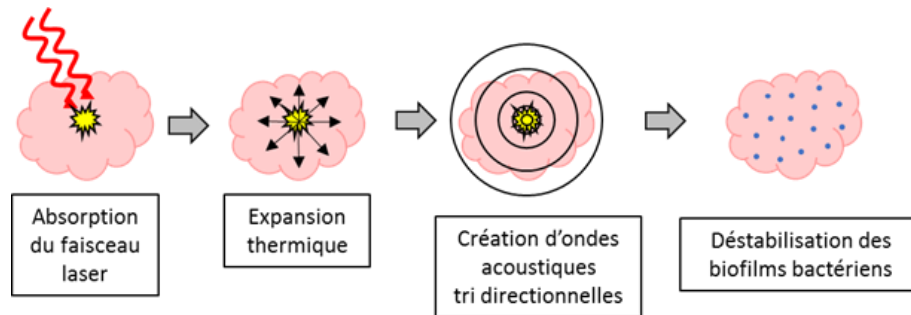


Figure 15 : L'effet photo-acoustique

3.3 Effets thermiques

Les effets thermiques des lasers sont dus à une conversion de la lumière absorbée en chaleur. Cette chaleur ainsi formée, va ensuite diffuser dans les tissus et provoquer des dommages tissulaires qui peuvent être réversibles, ou irréversibles (apparition d'une nécrose), en fonction de la température et du temps d'échauffement du tissu.

Les dommages irréversibles peuvent être classés en 3 groupes : l'hyperthermie, la coagulation et la volatilisation. [27]

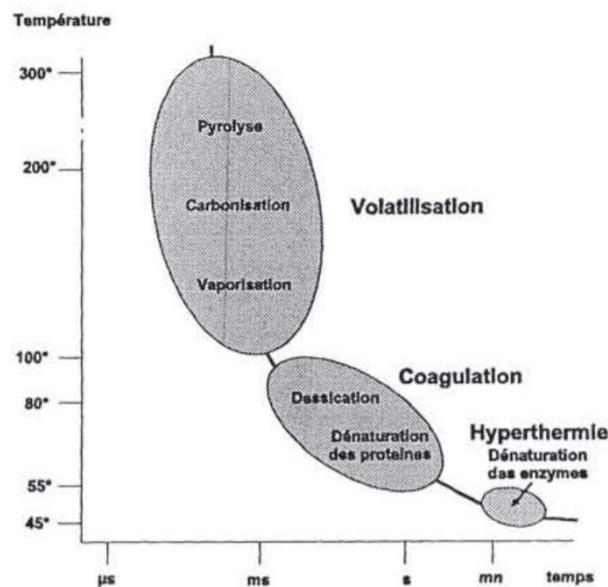


Figure 16 : Actions de la chaleur sur les constituants tissulaires en fonction de la température et du temps. [27]

3.3.1 L'hyperthermie

L'hyperthermie correspond à un échauffement modéré des tissus, entre 41°C et 45°C, pendant plusieurs dizaines de minutes. Ceci provoque une altération des processus enzymatiques, provoquant une mort cellulaire retardée.

Cet effet est invisible, ce qui le rend très difficile à maîtriser. [27]

3.3.2 La coagulation

La coagulation a lieu avec des températures entre 50°C et 99°C maintenues pendant quelques secondes. Une dénaturation des protéines et du collagène se produit, entraînant une dessiccation et une rétraction des tissus.

Secondairement, les tissus vont s'éliminer (détersion), s'ensuit alors le processus de cicatrisation. [27]

3.3.3 La volatilisation

La volatilisation est une perte de matière immédiate, les différents constituants tissulaires partent en fumée. L'échauffement est très bref, de l'ordre du dixième de seconde, mais atteint des températures supérieures à 100°C.

La transition thermique entre la zone saine et la zone volatilisée se fait graduellement, c'est pourquoi on observe une zone de nécrose de coagulation au niveau des berges de la surface volatilisée. C'est cette zone de nécrose de coagulation qui est responsable de l'effet hémostatique.

Sur une zone étroite, l'effet de volatilisation est similaire à celui d'un scalpel, avec l'avantage d'une absence de saignement (grâce à l'hémostase obtenue sur les berges de l'incision). [27]

3.4 Effets photochimiques

Les effets photochimiques se produisent sous la limite du visible [7]. Ils résultent de l'activation d'un agent photosensibilisant par une source de lumière de longueur d'onde spécifique, en présence d'oxygène.

L'agent photosensibilisant activé par le laser, va alors transférer son énergie à l'oxygène présent dans le milieu (via des réactions d'oxydo-réductions), conduisant à la formation de nouvelles espèces chimiques très réactives telles que l'oxygène singulet ou les radicaux libres. On les appelle les espèces réactives de l'oxygène (ROS : Reactive Oxygen Species). Ces dernières sont capables d'endommager des cellules cibles, comme les bactéries impliquées dans les maladies parodontales ou la péri-implantite. [31]

On parle de thérapie photo-dynamique (PDT), également appelée photoradiothérapie, photothérapie ou photochimiothérapie. [32]

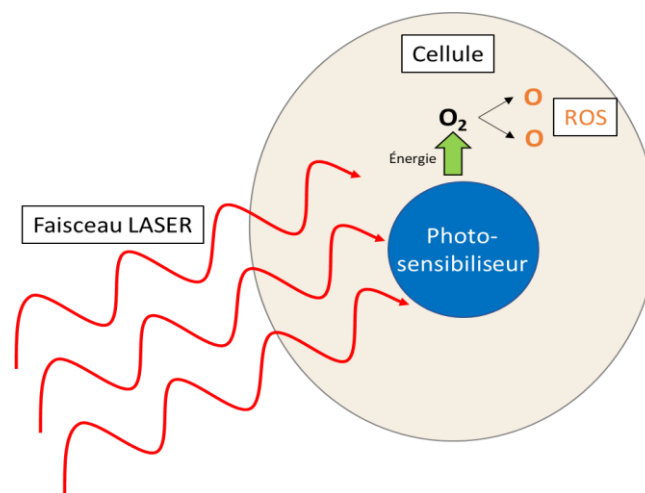


Figure 17 : Schéma de création des radicaux libres via excitation d'un agent photosensibilisant

Plusieurs agents photosensibilisants de synthèse sont utilisés en dentisterie, comme le bleu de méthylène, le bleu de toluidine ou la Bétadine. Ces substances sont spécifiques à une longueur d'onde donnée, il est donc essentiel d'utiliser un laser adapté.

3.5 Effets biostimulants

Les effets biostimulants se produisent nettement sous la limite du visible et sont obtenus avec de faibles niveaux d'énergie. [7]

Contrairement à la PDT, la biostimulation, également appelée LLLT (Low Level Laser Therapy) ou encore photobiomodulation, utilise l'énergie lumineuse pour stimuler directement les cellules de l'hôte en vue de réduire l'inflammation, soulager la douleur et favoriser la cicatrisation. [33]

Les longueurs d'ondes utilisées pour la LLLT possèdent un faible coefficient d'absorption dans l'eau, et par conséquent un fort pouvoir de pénétration (de 3 à 15mm). [34] Ce sont le plus souvent des lasers de type diode qui sont utilisés (longueurs d'ondes entre 600 et 850nm).

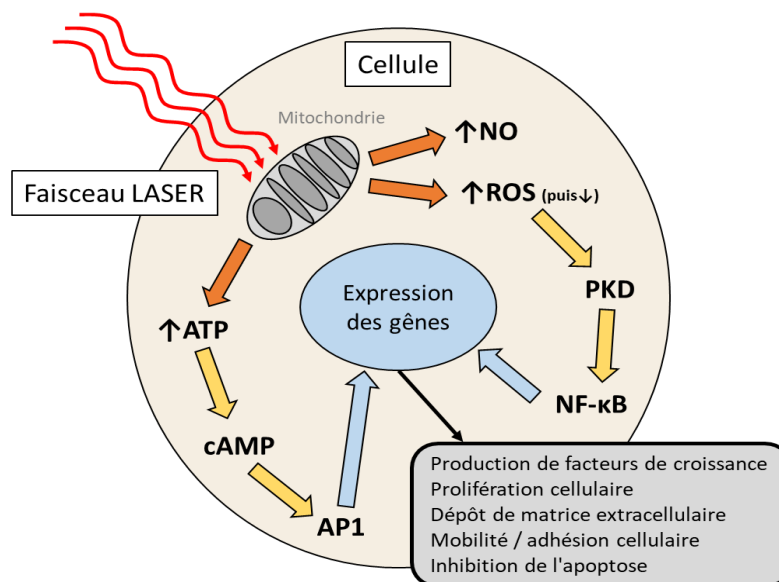


Figure 18 : Principe de la biostimulation

Le mode d'action est le suivant : la plupart des effets de la LLLT peuvent être expliqués par l'absorption de la lumière dans les mitochondries.

En effet, nos cellules peuvent contenir jusqu'à plusieurs milliers de mitochondries générant de l'énergie sous forme d'ATP (adénosine triphosphate) au cours de la respiration cellulaire.

Dans les tissus stressés ou ischémiques, les mitochondries vont synthétiser du monoxyde d'azote (NO), qui entre en compétition avec l'oxygène (au niveau de sa liaison avec la Cytochrome c Oxydase « CcO ») nécessaire à la production de l'ATP. [35]

Deux effets négatifs en résultent : une synthèse réduite d'ATP et une augmentation du stress oxydatif (conduisant à une inflammation).

L'effet primaire de la biostimulation consiste en l'absorption de la lumière par l'enzyme CcO. Ce transfert de lumière va déclencher le déplacement du NO de la chaîne respiratoire, et ainsi augmenter la production d'ATP et d'espèces réactives de l'oxygène (ROS).

Ces modifications se font par l'intermédiaire de l'Adénosine MonoPhosphate Cyclique (AMPC) et de la Protéine Kinase D (PKD), afin d'activer les facteurs de transcription AP1 et NF-κB. Ces derniers entraînent des modifications dans l'expression des gènes et donc dans la production des messagers chimiques impliqués dans les changements cellulaires observés après l'exposition à la LLLT. Plusieurs réponses cellulaires peuvent être observées telles que la prolifération, la migration, la nécrose ou l'inflammation. [36]

Les tissus qui n'ont pas absorbé de photons peuvent également être affectés indirectement via des molécules bioactives libérées par les cellules qui ont été stimulées.

3.6 Effets mécaniques

On distingue deux effets mécaniques : l'effet thermomécanique et l'effet électromécanique. [27]

Ces effets sont observés avec les lasers produisant des impulsions très brèves, et possédant une haute puissance de crête (laser Nd-YAP et Nd-YAG). On les utilisera par exemple pour réaliser les obturations des deltas apicaux en endodontie. [7]

Les différents effets que nous venons de décrire, dépendent du pouvoir de pénétration du laser utilisé et de sa mise en contact ou non avec le tissu cible. Leurs zones d'action sont résumées dans le schéma suivant :

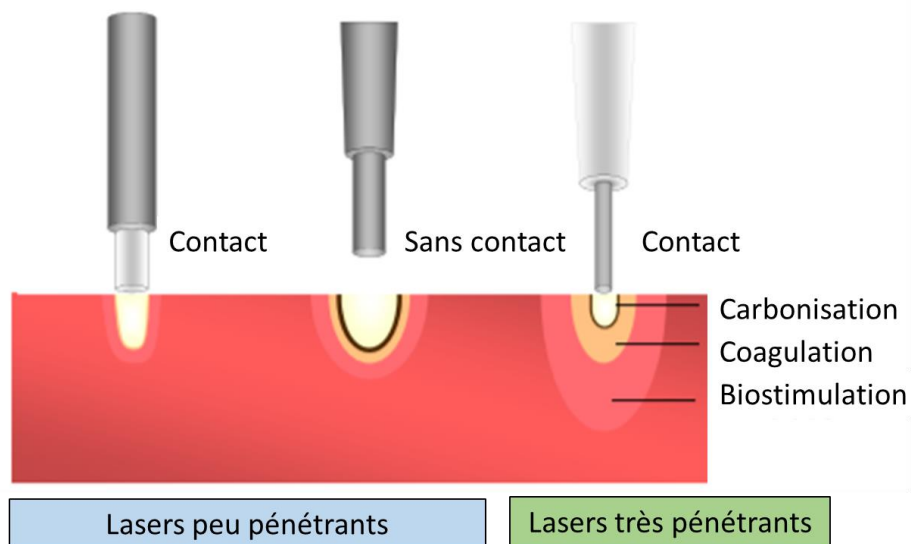


Figure 19 : Effets tissulaires des lasers en fonction de leur pouvoir de pénétration [37]

4 LES DIFFERENTS LASERS UTILISES EN ODONTOLOGIE

4.1 Lasers diodes ou à semi-conducteurs

4.1.1 Caractéristiques techniques

Le milieu actif de ce laser est constitué de 2 semi-conducteurs de nature différente : on utilise généralement du gallium (Ga) et de l'arsenic (As) ou de l'aluminium (Al) associé à de l'Indium (In). Sa longueur d'onde se situe dans le proche infrarouge, entre 600nm et 1064nm environ.

La particularité de ce laser est qu'il n'y a pas de cavité de résonance, le simple clivage du semi-conducteur à fort indice optique suffit à produire le faisceau laser. De plus, l'inversion de population (nécessaire à la naissance du faisceau) se fait grâce à un courant électrique, et non une source d'énergie lumineuse. Sa puissance varie de 2 à 20W en général. [7] [17] [20]

4.1.2 Interactions avec les tissus cibles

Le laser diode est très peu absorbé dans l'eau, ce qui explique son importante pénétration (environ sur 5mm). Son effet de diffusion est important, mais reste inférieur au laser Nd-YAG. Il n'est pas du tout absorbé dans l'hydroxyapatite, mais l'est beaucoup dans les chromophores (hémoglobine, bactéries et mélanine).

4.1.3 Indications du laser diode

- Endodontie : stérilisation canalaire ;
- Chirurgie des tissus mous (propriétés hémostatiques importantes) ;
- Parodontie : décontamination des poches parodontales ;
- Dentisterie esthétique : éclaircissement dentaire ;
- Implantologie : périostéotomies, phase II chirurgicale, biostimulation osseuse pré-implantaire, traitement des péri-implantites grâce à la LLLT et la PDT.

4.1.4 Exemples de lasers diodes



Figure 20 : (à gauche) Laser diode smart M pro © multi longueurs d'onde de Lasotronix [39] ; (à droite) Laser diode Wiser Icone II © de Kaelux [40]

4.2 Lasers CO₂

4.2.1 Caractéristiques techniques

Le milieu actif de ce laser est un gaz, le dioxyde de carbone (CO₂). Sa longueur d'onde est située dans l'infrarouge lointain, comprise entre 9 300nm et 10 600nm.

Sa puissance est fonction du régime utilisé, elle varie de 0,5W à 25W en régime continu, et peut atteindre 150W à 600W en mode impulsionnel.

Un des inconvénients du laser CO₂ est que sa transmission est impossible par fibre optique, il faut donc utiliser un bras articulé. [7] [20] [41] [42]

4.2.2 Interactions avec les tissus cibles

Le faisceau laser émis est très absorbé dans l'eau et dans l'hydroxyapatite, il est donc peu pénétrant et peu diffusant. A l'inverse, il n'est pas absorbé dans l'hémoglobine.

C'est le laser de référence pour les tissus mous.

Le laser CO₂ est un laser photo-ablatif. En effet, il est capable de réaliser des coupes précises et rapides des tissus mous avec une hémostase immédiate, supprimant le besoin de sutures dans certaines indications (sutures laser).

L'accessibilité et la visibilité sont alors augmentées, réduisant le temps de l'intervention ainsi que les suites postopératoires. Son effet thermique le rend fortement bactéricide, il est donc indiqué pour la stérilisation et la décontamination.

4.2.3 Indications du laser CO₂

- Chirurgie des tissus mous : plasties gingivales, biopsie/exérèse de lésions buccales, correction de freins ou brides, gestion des profils gingivaux prothétiques par gingivectomie/gingivoplastie, approfondissement de vestibule, élimination des pigmentations gingivales, réalignement des collets, élimination de crêtes flottantes ;
- Dentisterie conservatrice : curetage dentinaire de lésions carieuses (mais ce n'est pas le laser de choix) ;
- Parodontie : décontamination des poches parodontales à ciel ouvert (après élévation de lambeau) ;
- Implantologie : phase II chirurgicale, biostimulation osseuse pré-implantaire
- Sutures lasers.

4.2.4 Exemple de lasers CO₂



Figure 21 : (à gauche) Laser Absorber CO₂ ® de Kaelux [43] ; (à droite) Laser CO₂ Solea ® de Convergent Dental [44]

4.3 Laser Nd-YaG

4.3.1 Caractéristiques techniques

Ce laser est constitué d'un cristal « Yttrium Aluminium Garnet », dopé au Néodyme qui est une terre rare. Sa longueur d'onde est de 1064nm (émission infrarouge) et il peut atteindre une puissance maximale de 10W.

La durée de chaque impulsion est réglable : 100µs, 150µs ou 300µs, ainsi que leur fréquence de 1 à 200Hz. La transmission se fait par une fibre optique souple (200µm, 320µm ou 600µm). [7] [20]

4.3.2 Interactions avec les tissus cibles

Peu absorbé par l'eau comme le laser diode, le Nd-YAG est un laser pénétrant (jusqu'à 10mm). Son effet de diffusion est important, il assure donc une action décontaminante en profondeur. Sa forte diffusion le rend délicat à manipuler, les tissus périphériques à la zone traitée peuvent être accidentellement irradiés et échauffés.

4.3.3 Indications du laser Nd-YAG

- Endodontie (c'est un des lasers les plus performants) : stérilisation, décontamination des canaux, dépose de tenon ou instrument fracturé ;
- Dentisterie conservatrice : curetage dentinaire, traitement des sillons de l'émail, traitement des sensibilités dentinaires par obturation des tubulis, coiffage pulpaire ;
- Parodontie : décontamination des poches parodontales ;
- Chirurgie des tissus mous : plasties gingivales, correction de freins ou brides, exérèse de tumeurs bénignes ;
- Implantologie : assistance aux chirurgies pré-implantaires et implantaires, traitement des péri-implantites ;
- Dentisterie esthétique : éclaircissement dentaire ;
- Sutures lasers.

4.3.4 Exemples de lasers Nd-YAG



Figure 22 : (à gauche) Laser Nd-YAG PerioLase MVP-7® de Millennium Dental Technologies [45] ; (à droite) Laser Nd-YAG Genius 9 SDL® de Genius Periodental [46]

4.4 Laser Nd-YAP

4.4.1 Caractéristiques techniques

Ce laser est formé d'un cristal « Yttrium Aluminium Perowskite », dopé au Néodyme. Comme le Nd-YAG, il émet dans l'infrarouge : sa longueur d'onde est de 1340nm. Sa fréquence est réglable sur 5Hz, 10Hz ou 30Hz.

La transmission peut se faire par 2 fibres optiques, l'une de 200µm (pour l'endodontie) et l'autre de 320µm (pour la parodontie et la chirurgie). Un aiguilleur permet le changement immédiat d'une fibre à l'autre.

Il fonctionne en mode impulsionnel, la durée de chaque tir est très courte, environ 150µs entrecoupées de périodes de repos. [7] [16] [41] [47]

4.4.2 Interactions avec les tissus cibles

Concernant l'absorption dans les tissus mous, c'est un laser intermédiaire : il est plus absorbé que les lasers diodes et Nd-YAG, mais moins absorbé que le laser Er-YAG et CO₂. Il fait tout de même partie des lasers dits « pénétrants », son rayonnement atteignant 150µm de profondeur.

4.4.3 Indications du laser Nd-YAP

- Endodontie : stérilisation canalaire, dépose d'instruments fracturés ;
- Parodontie : décontamination des poches parodontales ;
- Dentisterie conservatrice : traitement des sensibilités dentinaires par obturation des tubulis, coiffage pulpaire ;
- Implantologie : traitement des péri-implantites ;
- Traitement assisté par laser de l'ostéochimionécrose.

4.4.4 Exemple de laser Nd-YAP



Figure 23 : Laser Nd-YAP Lokki ® de Lobel Médical [48]

4.5 Lasers Er-YaG

4.5.1 Caractéristiques techniques

Ce laser est formé d'un cristal « Yttrium Aluminium Garnet », dopé à l'Erbium. Il émet dans l'infrarouge, à une longueur d'onde de 2940nm et sa fréquence varie de 4 à 50Hz. Son émission est faite d'impulsions très courtes (environ 240µs), entrecoupées de périodes de repos. La transmission peut se faire par fibre optique ou par bras articulé. [7] [16] [47]

4.5.2 Interactions avec les tissus cibles

La longueur d'onde du laser Er-YAG se situe sur le pic maximum du coefficient d'absorption de l'eau. Son pouvoir de pénétration tissulaire est donc très faible, entre 2 et 15µm. Il est aussi très bien absorbé par l'hydroxyapatite.

4.5.3 Indications du laser Er-YAG

- Endodontie : stérilisation canalaire ;
- Chirurgie des tissus mous : exérèse de lésions bénignes, chirurgie muco-gingivale, dépigmentation ;
- Parodontie : surfaçage radiculaire, décontamination des poches parodontales
- Dentisterie conservatrice : curetage dentinaire ;
- Chirurgie osseuse : exérèse de torus, régularisations de crêtes, expansions de crêtes, fenestration pour chirurgie apicale ou élévation de sinus, décontamination alvéolaire postextractionnelle, élongation coronaire ;
- Implantologie : ostéotomie pré-implantaire, préparation du lit implantaire, phase II chirurgicale, traitement des péri-implantites ;
- Pédodontie : préparations cavitaires, scellement des puits et fissures ;
- Extraction des dents incluses ;
- Orthodontie : préparation amélaire avant le collage des brackets.

4.5.4 Exemples de laser Er-YAG



Figure 24 : (à gauche) Laser ErYAG Pluser II ® de Kaelux [49] ; (à droite) Laser LightWalker ST-E ® de Fotona [50]

4.6 Laser Er,Cr-YSGG

4.6.1 Caractéristiques techniques

Ce laser est formé d'un cristal « Yttrium-Scandium-Gallium-Grenat », dopé à l'Erbium et au Chrome. Sa longueur d'onde est de 2780nm.

C'est un laser pulsé, dont la transmission est réalisée par une fibre optique.

4.6.2 Interactions avec les tissus cibles

Les interactions du laser Er,Cr-YSGG sont similaires à celles de l'Er-YAG. Comme ce dernier, il est fortement absorbé par l'eau et l'hydroxyapatite, ce qui lui confère un faible pouvoir de pénétration.

C'est un laser photo ablatif, très efficace sur les tissus durs. Son utilisation est limitée sur les tissus mous car sa longueur d'onde ne permet pas une bonne hémostase. On lui préférera alors les tissus peu vascularisés.

Néanmoins, cette caractéristique pourrait être utile pour les traitements des maladies péri-implantaires, où l'on recherchera la persistance d'un caillot sanguin autour de l'implant pour favoriser la cicatrisation. De plus, ce laser présente d'excellentes propriétés bactéricides.

4.6.3 Indications du laser Er,Cr-YSGG

- Endodontie : stérilisation canalaire ;
- Parodontie : décontamination des poches parodontales ;
- Implantologie : explantation, décontamination des alvéoles post-extractionnelles, préparation du lit implantaire, phase II chirurgicale, gestion des maladies péri-implantaires, sinus lift ;
- Dentisterie conservatrice : curetage dentinaire ;
- Pédodontie : préparations cavitaires, scellement des puits et fissures.

4.6.4 Exemple de laser Er, Cr-YSGG



Figure 25 : Laser Er,Cr-YSGG WaterLase® iPlus - Biolase Tech [51]

4.7 Tableau récapitulatif de tous les lasers utilisés en odontologie

	Laser Diode	Laser Nd-YAG	Laser Nd-YAP	Laser Er,Cr,YSGG	Laser Er-YAG	Laser à CO ₂
Milieu actif	Gallium (Ga) + Arsenic (As) ou Aluminium (Al) + Indium (In)	Cristal d' Yttrium Aluminium Garnet dopé au Néodyme (Nd)	Cristal d' Yttrium Aluminium Perowskite dopé au Néodyme (Nd)	Cristal d'Yttrium-Scandium-Gallium-Grenat dopé à l'Erbium (Er) et au Chrome (Cr)	Cristal d' Yttrium Aluminium Garnet dopé à l'Erbium (Er)	Dioxyde de Carbone : CO ₂
Longueur d'onde λ	Proche IR : entre 600 nm et 1064 nm	1064 nm	1340 nm	2780 nm	2940 nm	IR lointain : de 9300 nm à 10600 nm
Fréquence		1 à 200 Hz	5 à 30 Hz	5 à 100 Hz	4 à 50 Hz	
Puissance	2 à 20 W	Max 10 W	0,9 à 10 W	0.1 à 10 W	20 W	Régime continu : 0,5 à 25 W Régime impulsif : 150 à 600 W
Mode de transmission	Fibre optique	Fibre optique	Fibre optique	Fibre optique	Fibre optique ou bras articulé	Fibre creuse ou bras articulé
Pénétration	5 mm	Jusqu'à 10 mm	150 µm	Très faible	Très faible : entre 2 et 15 µm	Faible
Diffusion	++	++++		---	---	---
Absorption	<ul style="list-style-type: none"> Hydroxyapatite : --- H₂O : -- Hémoglobine : +++ 	<ul style="list-style-type: none"> H₂O : --- Hémoglobine : +++ 	<ul style="list-style-type: none"> H₂O : +++ Hémoglobine : +++ 	<ul style="list-style-type: none"> Hydroxyapatite : +++++ H₂O : +++++ 	<ul style="list-style-type: none"> Hydroxyapatite : +++++ H₂O : +++++ 	<ul style="list-style-type: none"> Hydroxyapatite : ++++ H₂O : +++ Hémoglobine : ---
Indications	<p><u>Endodontie</u> : stérilisation canalair</p> <p><u>Chirurgie des tissus mous</u> (propriétés hémostatiques importantes)</p> <p><u>Parodontie</u> : décontamination des poches parodontales</p> <p>Dentisterie esthétique : éclaircissement dentaire</p> <p><u>Implantologie</u> : périostéotomies, phase II chirurgicale, biostimulation osseuse pré-implantaire, traitement des péri-implantites grâce à la LLLT et la PDT</p>	<p><u>Endodontie</u> : stérilisation canalair</p> <p><u>Chirurgie des tissus mous</u> : plasties gingivales, correction de freins ou brides, exérèse de tumeurs bénignes</p> <p><u>Parodontie</u> : décontamination des poches parodontales</p> <p><u>Dentisterie conservatrice</u> : curetage dentinaire, traitement des sillons de l'émail, traitement des sensibilités dentinaires par obturation des tubulis, coiffage pulpaire</p> <p>Sutures lasers</p> <p><u>Implantologie</u> : assistance aux chirurgies pré-implantaires et implantaires, traitement des péri-implantites</p> <p><u>Dentisterie esthétique</u> : éclaircissement dentaire</p>	<p><u>Endodontie</u> : stérilisation canalair</p> <p><u>Parodontie</u> : décontamination des poches parodontales</p> <p><u>Dentisterie conservatrice</u> : traitement des sensibilités dentinaires par obturation des tubulis, coiffage pulpaire</p> <p><u>Implantologie</u> : traitement des péri-implantites</p> <p>Traitement de l'ostéochimionécrose laser assisté</p>	<p><u>Endodontie</u> : stérilisation canalair</p> <p><u>Parodontie</u> : décontamination des poches parodontales</p> <p><u>Dentisterie conservatrice</u> : curetage dentinaire</p> <p><u>Implantologie</u> : explantation, décontamination des alvéoles post-extractionnelles, préparation du lit implantaire, élévation de sinus (sinus lift), phase II chirurgicale, traitement des péri-implantites</p> <p><u>Pédonologie</u> : préparations cavitaires, scellement des puits et fissures</p>	<p><u>Endodontie</u> : stérilisation canalair</p> <p><u>Chirurgie des tissus mous</u> : exérèse de lésions bénignes, chirurgie muco-gingivale, dépigmentation</p> <p><u>Parodontie</u> : surfaçage radiculaire, décontamination des poches parodontales</p> <p><u>Dentisterie conservatrice</u> : curetage dentinaire</p> <p><u>Chirurgie osseuse</u> : exérèse de torus, régularisations et expansions de crêtes, fenestration pour chirurgie apicale ou élévation de sinus, décontamination des alvéoles post-extractionnelles, élongation coronaire, extraction des dents incluses</p> <p><u>Implantologie</u> : ostéotomie pré-implantaire, préparation du lit implantaire, phase II chirurgicale, traitement des péri-implantites</p> <p><u>Pédonologie</u> : préparations cavitaires, scellement des puits et fissures</p> <p><u>Orthodontie</u> : préparation amélaire avant le collage des brackets.</p>	<p><u>Chirurgie des tissus mous</u> (laser de référence) : plasties gingivales, biopsie/exérèse de lésions buccales, correction de freins ou brides, gingivectomie, gingivoplastie, approfondissement de vestibule</p> <p><u>Parodontie</u> : décontamination des poches parodontales à ciel ouvert (après élévation de lambeau)</p> <p><u>Dentisterie conservatrice</u> : curetage dentinaire</p> <p>Sutures lasers</p> <p><u>Implantologie</u> : biostimulation osseuse pré-implantaire, phase II chirurgicale</p>

La figure suivante présente une synthèse graphique du tableau ci-dessous, en intégrant les positions des différents lasers dans les catégories abordées dans la Figure 19.

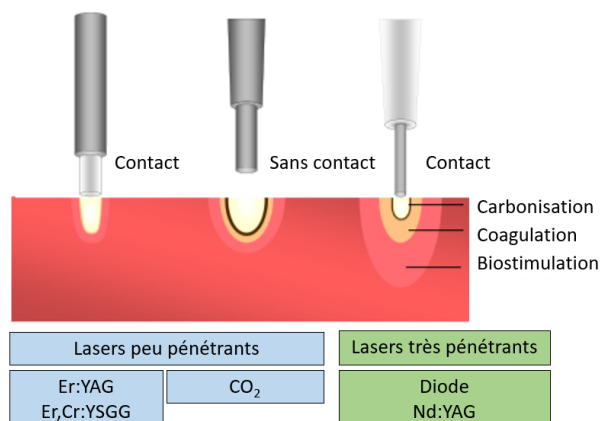


Figure 26 : Effets tissulaires des lasers Er:YAG, Er,Cr :YSGG, CO₂, Diode et Nd:YAG [37]

4.8 Sécurité des lasers

Les lasers médicaux sont des dispositifs puissants, et leur utilisation requiert la plus grande vigilance concernant les risques qu'ils mettent en œuvre lors de leur fonctionnement. Les lasers chirurgicaux utilisés en dentisterie appartiennent à la catégorie IV (celle présentant le plus de risques) tandis que les lasers utilisés pour la LLLT font partie des catégories IIIR et IIIB selon la norme NF-EN 60825 (voir Tableau 1 ci-dessous). [52]

Tableau 1 : Analyse des risques par rapport aux tissus et à la classe des lasers. [53]

Classe	Durée d'exposition courte		Durée d'exposition longue		Réflexion spéculaire	Exposition de la peau
	Exposition amplifiée	Œil non protégé	Exposition amplifiée	Œil non protégé		
I	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IM	☠	✓	☠	✓	✓	✓
II	✓	✓	☠	☠	✓	✓
IIM	☠	✓	☠	☠	✓	✓
IIIR	⚠	⚠	☠	☠	✓	✓
IIIB	☠	☠	☠	☠	⚠	⚠
IV	☠	☠	☠	☠	☠	☠

✓ : Aucun risque. ⚠ : Vigilance nécessaire pour éviter l'exposition au faisceau. ☠ : Protection maximale nécessaire, faisceau laser dangereux.

Ces risques sont multiples, et peuvent être divisés en 2 catégories : les risques liés au faisceau laser et les risques non liés au faisceau laser. [52]

4.8.1 Risques liés au faisceau laser

Il existe 2 risques principaux concernant les faisceaux laser :

- Les risques pour les yeux :

D'une part, l'exposition aux longueurs d'onde comprises entre 2780nm et 10600nm (IR moyen et lointains) présente un danger pour la cornée (endommagement, distorsion de la vision).

D'autre part, l'exposition aux longueurs d'onde comprises entre 400nm et 1400nm (visible et proche IR) présente un danger au niveau de la rétine. Ces lésions sont plus graves car les longueurs d'ondes du visible peuvent détruire sélectivement les cônes rouges et verts de la rétine et ainsi provoquer certaines zones de cécité. Le risque est d'autant plus grand qu'une brûlure de la rétine peut passer inaperçue en raison du manque de récepteurs relatifs à la douleur dans cette zone.

Pour se protéger de ces risques, la réglementation impose le port de lunettes de protection homologuées CE pour le patient, le praticien et toute personne présente dans la pièce lors de l'utilisation du laser.

Ces lunettes doivent être adaptées à la longueur d'onde employée.



Figure 27 : Lunettes de protection correspondant aux différentes longueurs d'ondes. [53]

- Les risques pour la peau :

Les lasers présentent un risque de « brûlures » cutanées par interaction avec les chromophores présents dans les tissus.

4.8.2 Risques non liés au faisceau

Ce sont les risques liés aux composants du laser (risque de choc électrique, risque incendie...).

S'ajoutant à ces risques usuels, il existe un risque spécifique lié à la propagation des produits d'ablation des tissus par le laser. Ces derniers peuvent former un complexe chimique composé de vapeur d'eau, gaz d'hydrocarbures, monoxyde ou dioxyde de carbone, particules organiques (y compris virus et bactéries). L'inhalation de ce complexe peut provoquer nausées, difficultés respiratoires et inoculation des bactéries à distance.

Pour se protéger de ces risques, l'utilisateur du laser doit porter un masque et mettre en place une aspiration adéquate.

Pour conclure, le praticien doit toujours garder en tête les risques inhérents à l'utilisation du laser, bien en maîtriser les paramètres et respecter les recommandations des constructeurs.

5 UTILISATIONS CLINIQUES DES LASERS EN IMPLANTOLOGIE : REVUE SYSTEMATIQUE DE LA LITTERATURE

5.1 Objectifs

L'objectif de cette revue systématique de la littérature était de répondre à 6 questions :

(1) Dans quelles indications et pour quels bénéfices utiliser le laser en chirurgie pré-implantaire ? ; (2) Pendant la première phase implantaire ? ; (3) Pendant la deuxième phase implantaire ? ; (4) Quels sont les effets de la photothérapie de faible intensité sur la néoformation osseuse ? ; (5) Sur la stabilité implantaire ? ; Et enfin, (6) Le laser est-il un outil efficace dans le traitement des péri-implantites ?

5.2 Matériels et méthodes

5.2.1 Protocole

Une revue de littérature a été menée selon les recommandations PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). [54]

La méthode PRISMA consiste en un ensemble d'items à respecter lors d'une revue systématique pour en assurer la rigueur et diminuer les biais de sélection.

5.2.2 Design de l'étude et critères d'inclusion

Cette analyse a évalué les effets thérapeutiques du laser en implantologie. Les essais cliniques, les séries de cas et case-reports qui ont rapporté des données sur l'utilisation du laser en implantologie ont été inclus.

Des questions cliniques spécifiques ont été conçues concernant les applications du laser en implantologie.

L'acronyme en anglais PICOS (Population, Intervention, Comparison [Comparaison], Outcomes [Résultats], and Studies [Type d'études]) a été utilisé pour formuler ces questions dans lesquelles : (P) les patients bénéficiant d'une thérapie laser ; (I) la thérapie laser ; (C) les autres modes de prise en charge ; (O) l'efficacité du traitement par laser ; (S) les essais cliniques, séries de cas et case-reports.

Les articles scientifiques en langue anglaise publiés entre janvier 2005 (pour éviter des biais liés aux innovations technologiques) et janvier 2020, dont les résumés et textes complets étaient disponibles, ont été inclus.

Les études animales, in-vitro, ex-vivo, les éditoriaux, chapitres de livres, revues narratives, les thèses ainsi que les travaux présentés lors de conférences et congrès n'ont pas été inclus.

5.2.3 Stratégie de la recherche d'articles

Une stratégie de recherche a été élaborée et adaptée aux bases de données électroniques disponibles via l'Environnement Numérique de Travail de l'Université d'Aix-Marseille : Cochrane Library, PubMed, et Web of Science.

Une recherche additionnelle de littérature grise a été effectuée sur Google Scholar.

Chaque question a été recherchée séparément en combinant les mots-clés de recherche présentés dans le tableau 1, avec des mots-clés spécifiques choisis pour chaque question.

Les doublons ont été supprimés par le logiciel de gestion des références (EndNote®, Thompson Reuters, Philadelphie, PA).

Les références des articles sélectionnés ont ensuite été triées à la main pour identifier les manuscrits supplémentaires potentiels qui auraient pu être manqués lors des recherches dans la base de données électronique.

Un confrère expert a également été consulté afin de parfaire les résultats des recherches.

Bases de données	Stratégie de recherche (Date de la recherche : 6 janvier 2020)
Cochrane Library	" dental implant" OR "implant, dental" OR "implantology" OR " peri-implantitis" OR "periimplantitis" AND ("Laser therapy" OR "Laser Therapies" OR "Low Level Light Therapy" OR "Low-Level Light Therapies" OR "Photobiomodulation Therapy" OR "Photobiomodulation Therapies" OR LLLT OR "Low-Level Laser Therapies" OR "Low Power Laser Therapy" OR "Low-Power Laser Therapy" OR "Low-Power Laser Therapies" OR "Low Level Laser Therapy" OR "Low-Power Laser Irradiation" OR "Low Power Laser Irradiation" OR "Laser Biostimulation" OR "Laser Phototherapy")
PubMed	("laser therapy"[MeSH] OR "Laser therapy" OR "Laser Therapies" OR "Low Level Light Therapy" OR "Low-Level Light Therapies" OR "Photobiomodulation Therapy" OR "Photobiomodulation Therapies" OR LLLT OR "Low-Level Laser Therapies" OR "Low Power Laser Therapy" OR "Low-Power Laser Therapy" OR "Low-Power Laser Therapies" OR "Low Level Laser Therapy" OR "Low-Power Laser Irradiation" OR "Low Power Laser Irradiation" OR "Laser Biostimulation" OR "Laser Phototherapy" OR "Lasers"[Mesh] OR Lasers OR Laser) AND ("implant, dental"[MeSH Terms] OR "dental implant" OR "implantology" OR "peri-implantitis" OR "periimplantitis")
Web of Science	TS=("implant, dental"[MeSH Terms] OR "dental implant" OR "implantology" OR "peri-implantitis" OR "periimplantitis") AND TS=("Laser therapy" OR "Laser Therapies" OR "Low Level Light Therapy" OR "Low-Level Light Therapies" OR "Photobiomodulation Therapy" OR "Photobiomodulation Therapies" OR LLLT OR "Low-Level Laser Therapies" OR "Low Power Laser Therapy" OR "Low-Power Laser Therapy" OR "Low-Power Laser Therapies" OR "Low Level Laser Therapy" OR "Low-Power Laser Irradiation" OR "Low Power Laser Irradiation" OR "Laser Biostimulation" OR "Laser Phototherapy" OR lasers OR laser)
Google Scholar	allintitle: Laser Implantology OR Laser Dental Implant OR Photobiomodulation Implant

Tableau 2 : Stratégie de recherche avec les mots clés et termes MeSH appropriés.

5.2.4 Sélection des articles

La sélection des articles a été effectuée en deux phases.

La phase I (phase d'identification) a été réalisée dans les bases de données électroniques et deux auteurs ont indépendamment filtré les titres et les résumés pour identifier les articles éligibles dans toutes les bases de données électroniques.

Au cours de la phase II (phase de screening), les doublons ont été exclus.

Pour la phase III (phase d'éligibilité) les mêmes auteurs ont procédé à une lecture intégrale des articles admissibles et ont exclu ceux qui ne répondaient pas aux critères d'inclusion.

5.2.5 Collecte de données

Un auteur a recueilli les données pertinentes de chaque article. Un deuxième auteur a contre-vérifié ces informations recueillies pour en confirmer l'exactitude.

Les articles inclus ont ensuite été assignés à chacune des 6 questions posées.

5.2.6 Risque de biais

Le risque de biais (RdB) des essais cliniques randomisés a été évalué grâce à l'outil de mesure du Cochrane Handbook pour évaluer la qualité méthodologique des revues systématiques [55]

5.3 Résultats

5.3.1 Sélection des études

Au cours de la phase I, 1359 articles ont été identifiés et, 604 références après élimination des doublons. Après lecture des titres et des résumés, 66 articles ont été sélectionnés pour la phase II. La lecture intégrale des textes a été effectuée et 10 articles ont été exclus selon les critères d'admissibilité. Enfin, 56 ont donc été sélectionnés pour cette revue de littérature.

Ces articles ont été dispatchés selon les 6 questions posées dans ce travail.

Un organigramme détaillant le processus d'identification, de sélection et d'inclusion des études est présenté dans la Figure 28.

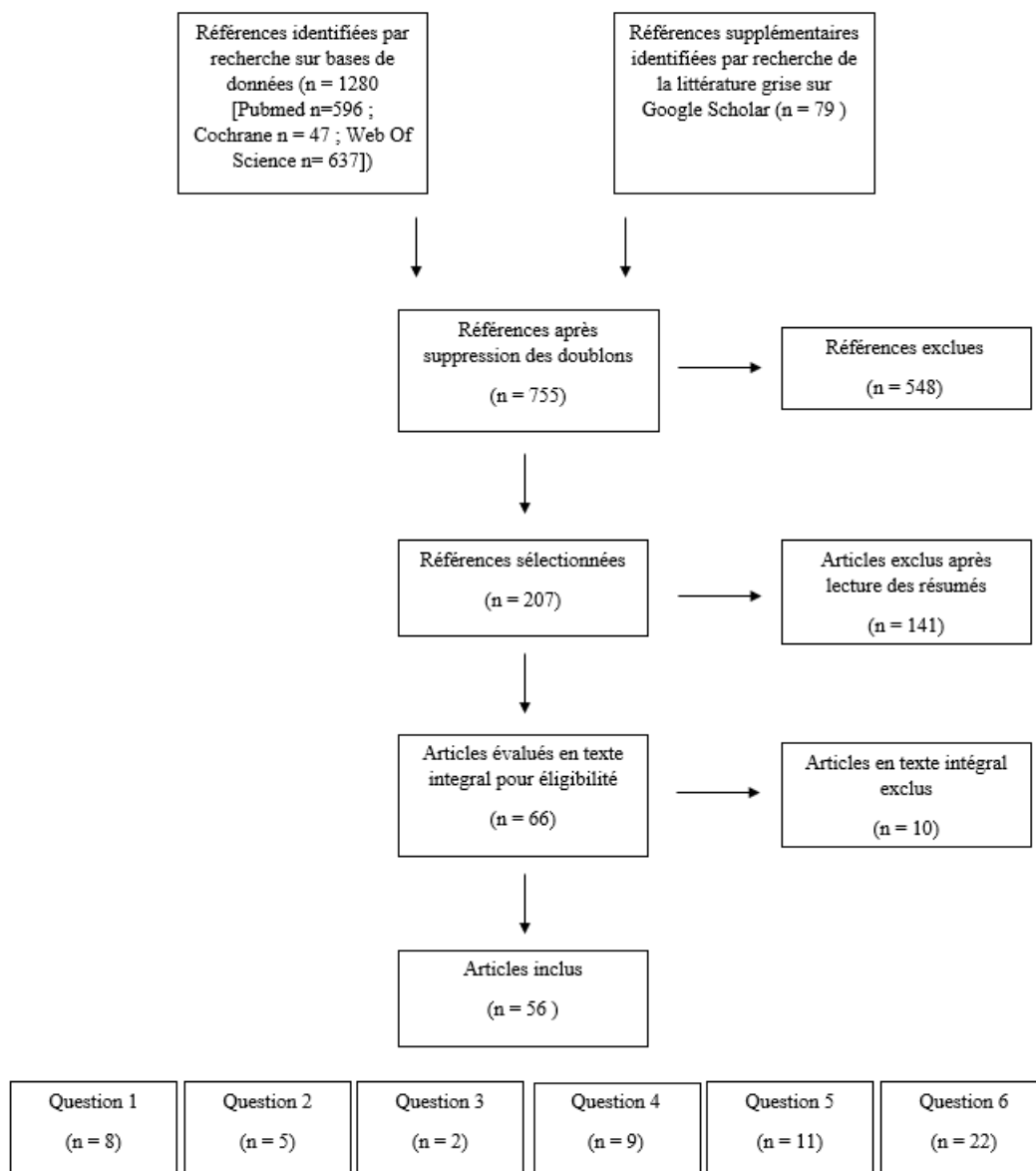


Figure 28 : Diagramme de sélection des articles (PRISMA Flow Diagram)

5.3.2 Laser et chirurgie pré-implantaire

Question n°1 : Dans quelles indications et pour quel bénéfice utiliser le laser en chirurgie pré-implantaire ?

Dans leurs études menées en 2007 [56], 2008 [57] et 2009 [58], Stübinger et al. ont montré que le laser Er-YAG était un outil efficace pour la réalisation des ostéotomies pré-implantaires. Ce laser présentait une bonne efficacité de coupe, et ne causait pas de dommages thermiques. Les auteurs notaient tout de même une manipulation difficile dans certaines zones, ainsi qu'un manque de contrôle fiable de la profondeur de coupe. Pour cette indication, le temps opératoire était augmenté comparativement aux instruments conventionnels.

En 2014 Tosun [59] a affirmé le laser Er-YAG comme pouvant être utilisé pour réaliser les fenêtres d'accès latérales lors des élévations de sinus, avec une préférence pour le laser à impulsion variable VSP (Variable Square Pulse). Mais Kim et al. en 2014 [60] ont rapporté un taux supérieur de perforations de la membrane sinusienne comparativement aux instruments conventionnels.

Le laser diode a lui aussi trouvé sa place en phase pré-implantaire, notamment pour la réalisation des périostéotomies comme l'ont suggéré les résultats de Moslemi et al. en 2016 [61] et Shahnaz et al. en 2017, avec un essai clinique contrôlé et randomisé à bonne méthodologie [62]. Le laser diode a permis une réduction des douleurs post-opératoires ainsi qu'une réduction de la consommation d'AINS (anti-inflammatoires non stéroïdiens). L'œdème a également été plus faible, et la survie implantaire à 6 mois était de 100%.

Le laser Er,Cr-YSGG a été utilisé par Smith en 2010 [63] pour examiner son efficacité lors d'une explantation. Il s'est avéré être un bon outil, permettant une explantation rapide avec un traumatisme minime pour le patient et sans douleurs rapportées. L'utilisation du laser a permis une explantation minimalement invasive, préservant au maximum les tissus en vue de rendre une future réhabilitation implantaire possible.

Aucune contre-indication absolue à l'utilisation du laser Er,Cr,YSGG n'a été décrite dans la littérature. Cependant, les contre-indications habituelles relatives aux chirurgies orales doivent bien entendu être appliquées.

La preuve scientifique de l'intérêt d'utiliser le laser plutôt que d'autres techniques validées en chirurgie pré-implantaire est donc faible voire nulle, puisque limitée à des cas cliniques sporadiques. Cependant, il a été montré que le laser peut trouver son avantage dans l'indication des périostéotomies. De nouveaux essais cliniques contrôlés et randomisés avec une période de suivi plus longue seraient nécessaires pour vérifier ces résultats.

Tableau 3 : Résumé des caractéristiques descriptives générales des articles inclus pour répondre à la question 1. (NR : non renseigné ; ECR : essai contrôlé randomisé ; IF : impact factor)

Auteur	Année	Pays	Journal	IF 2018	Objectif de l'étude	Type d'étude	Type de laser	Nb de patients	Groupe contrôlé	Suivi	Variable(s) analysée(s)	Résultats	Conclusions
Kim et al. [60]	2014	Corée	Implant Dentistry	1.214	Efficacité des volet osseux de sinus lift au laser	Série de cas	Er,Cr:YSGG	13	0	6 à 8 mois	Perforations de la membrane sinusienne	30,77% de perforations	Pas de conclusion spécifique au laser
Moslemi et al. [61]	2016	Iran	Lasers in Medical Science	2.076	Efficacité des periostéotomies au laser lors de ROG	Série de cas	Diode	17	0	6 mois	Succès implantaire ; Hématome facial ; Œdème ; Douleur ; Prise d'AINS	100% de succès à 6 mois ; Saignements peropératoires faibles ; Absence de complication ; Fermeture primaire sans tension dans 100% des cas ; Douleurs post-opératoires moyennes ; Plus de consommation d'AINS après 4 jours	Efficacité des periostéotomies au laser
Shahnaz et al. [62]	2017	Iran	Lasers in Medical Science	2.076	Efficacité des periostéotomies au laser sur (1) la morbidité postopératoire (2) le taux de survie de l'implant à 6 mois	ECR	Diode	9	9	6 mois	Douleur ; Consommation d'AINS ; Œdème ; Hématome facial ; Survie implantaire	La douleur, la consommation d'AINS et l'intensité de l'œdème étaient significativement plus faibles dans le groupe laser ; 100% de survie implantaire à 6 mois.	Efficacité des periostéotomies au laser
Smith et al. [63]	2010	Australie	Australian Dental Journal	1.282	Efficacité de l'explantation au laser	Case report	Er,Cr:YSGG	1	0	6 semaines	Douleur ; Cicatrisation des tissus mous	Pas de douleurs ; Excellente cicatrisation des tissus mous	L'explantation peut être réalisée au laser
Stübinger et al. [58]	2009	Allemagne	European Surgical Research	1.629	Efficacité des ostéotomies préimplantaires au laser	Série de cas	Er:YAG	40	0	3 mois	Dommages thermiques	Aucun dommage thermique ; Manque de contrôle de la profondeur	Le laser peut être utilisé pour les ostéotomies
Stübinger et al. [56]	2007	Allemagne	Journal of Periodontology	2.768	Efficacité des ostéotomies préimplantaires au laser	Série de cas	Er:YAG	10	0	3 mois	Efficacité de coupe ; Risque de lésion des tissus adjacents ; Confort des patients ; Saignements	Efficacité de coupe satisfaisante ; Minimum de perte osseuse ; Risque minime sur les tissus adjacents ; Bonne cicatrisation postopératoire ; Pas de signes de carbonisation ; Temps opératoire très long	Alternative prometteuse aux instruments conventionnels si le temps opératoire n'était pas aussi long

Stübinger et al. [57]	2008	Allemagne	Lasers in Surgery and Medicine	3.262	Efficacité des ostéotomies préimplantaires au laser	Série de cas	Er:YAG	12	0	3 mois	<p>Dommages thermiques ; Dommages sur les tissus adjacents ; Efficacité de coupe ; Temps opératoire ; Contrôle de l'angle et de la profondeur</p> <p>Perforations de la membrane sinusienne ; manipulation, visibilité du champ opératoire, irrigation, vitesse de coupe osseuse, durée du travail</p>	<p>Pas de dommages thermiques ; Pas de dommages sur les tissus adjacents ; Bonne efficacité de coupe ; Temps opératoire inchangé ; Contrôle de l'angle et de la profondeur difficile</p> <p>1 perforation dans le groupe VSP ; 2 perforations dans le groupe Gaussian ; score parfait des paramètres dans les 2 groupes, excepté la "durée de travail" dans le groupe Gaussian qui obtient un score modéré ; Bonne efficacité de coupe ; bonne visualisation du champ opératoire grâce à l'irrigation</p>	<p>L'ostéotomie au laser Er:YAG est adaptée aux greffes osseuses ; Manipulation difficile dans certaines zones ; Manque de contrôle fiable de la profondeur</p> <p>Préférence du laser Er:YAG à impulsion variable pour réaliser les fenêtres d'accès latérales lors d'un sinus lift</p>
Tosun et al. [59]	2014	Italie	Journal of the Laser and Health Academy	NR	Efficacité des volets osseux de sinus lift au laser	Série de cas	Er:YAG	6 et 7	0	NR			

Tableau 4 : Résumé des paramètres laser dans les articles inclus pour répondre à la question 1. (NR : non renseigné)


Auteur (année)	Laser utilisé	Anesthésie locale	Longueur d'onde (nm)	Energie (J)	Fréquence (Hz)	Puissance (W)	Fluence (J/cm ²)	Irrigation	Mode d'émission	Distance entre le laser et le site opératoire	Modalités d'application
Kirm et al. (2014) [60]	Er,Cr:YSGG	oui (artificielle 1/100 000)	2780	NR	NR	NR	NR	H ₂ O	NR	NR	Unique
Moslemi et al. (2016) [61]	Diode	oui	940	NR	NR	2	NR	NR	Pulsé (1ms toutes les 1ms)	contact	Unique
Shahnaz et al. (2017) [62]	Diode	oui	810	NR	NR	maxi : 2 moyenne : 0,66	NR	NR	Pulsé (100µs toutes les 200µs)	contact	Unique
Smith et al. (2010) [63]	Er,Cr:YSGG	oui (lidocaine 1/80 000)	2780	NR	20	4	NR	H ₂ O 20% ; Air 20%	Pulsé	NR	Unique
Stübinger et al. (2009) [58]	Er:YAG	oui	2940	1	12	NR	157	H ₂ O 40-50 mL/min	Pulsé (300µs)	non-contact (10 mm)	Unique
Stübinger et al.(2007) [56]	Er:YAG	oui	2940	0,5	12	NR	64 à 177	NR	Pulsé (250µs)	non-contact (1 à 2 mm)	Unique
Stübinger et al.(2008) [57]	Er:YAG	oui	2940	1	12	NR	157	H ₂ O 40-50 mL/min	Pulsé (300µs)	non-contact (10 mm)	Unique
Tosun et al. (2014) [59]	Er:YAG	NR	2940	0,4	10	4	NR	44% air 33% H ₂ O	Pulsé (50µs)	non-contact (0,5 à 1mm)	Unique
Tosun et al. (2014) [59]	Er:YAG	NR	2940	0,4	15	6	NR	44% air 33% H ₂ O	Pulsé (300µs)	non-contact (0,5 à 1mm)	Unique

Tableau 5 : Évaluation de la qualité méthodologique des articles inclus pour répondre à la question 1.

- D1 : Randomisation
D2 : Afféctation dans un groupe dissimulée
D3 : Double aveugle
D4 : Evaluation des résultats en aveugle
D5 : Résultats incomplets
D6 : Communication sélective des résultats
D7 : Autres sources de biais

Jugement

-  Elevé
 Incertain
 Faible

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Risque de biais global
Shahnaz et al. (2017)								

5.3.3 Laser pendant la première phase implantaire

Question n°2 : Dans quelles indications et pour quel bénéfice utiliser le laser pendant la première phase implantaire ?

Lors de la première phase implantaire, le laser est un outil qui a été manipulé pour deux indications principales : la décontamination des alvéoles infectées avant implantation immédiate, et la préparation du lit implantaire.

Kusek (2011) [64], Birang et al. (2012) [65], et Crippa et al. (2019) [66], se sont penchés sur l'action des lasers Er-YAG et Er,Cr-YSGG lors de la décontamination des alvéoles infectées avant implantation immédiate. Kusek [64] et Birang [65] ont obtenu 100% de succès implantaire, une diminution notable de la charge bactérienne dans l'alvéole et l'absence de bactérie virulente. Aucune complication n'est observée à 6 mois. Crippa et al. [66] ont obtenu 94,6% de succès et affirmé que la combinaison de traitements mécaniques, chimiques et laser se sont avérés très efficaces pour la désinfection des sites de post-extraction. De plus, ce protocole a concédé un gain de temps de traitement considérable et des douleurs post-opératoires significativement réduites.

Ingenegeren (2011) [67] et Swider et al. (2019) [68] ont utilisé les lasers Er-YAG et Er,Cr-YSGG respectivement, comme outils pour la préparation du lit implantaire, supplantant ainsi la séquence de forage habituelle. Plusieurs avantages ont été mis en avant, comme la réduction des saignements peropératoires et l'absence de douleurs post-opératoires. De plus, ils ont relevé une très bonne stabilité primaire des implants et un taux de survie de 100%. La logistique a été simplifiée, par l'emploi d'un seul instrument, mais en contrepartie le temps opératoire a été plus long, surtout pour les densités osseuses élevées.

Ingenegeren (2011) [67] a tout de même soulevé plusieurs conditions nécessaires pour la réalisation de ce protocole.

Premièrement, la fibre optique du laser se doit d'être plus longue que les implants. Pour son cas, il a de ce fait utilisé une fibre laser de 14mm pour des implants de 12,5mm.

Deuxièmement, il doit y avoir une congruence entre la forme de l'implant et la préparation osseuse. L'auteur recommande alors l'utilisation d'un implant conique autotaraudant plutôt qu'un implant cylindrique.

Troisièmement, l'os doit être suffisamment refroidi pendant toute la durée de l'opération. Ce refroidissement est effectué par le système d'irrigation du laser, dont l'irradiation doit être parfaitement maîtrisée pour éviter les zones de carbonisation.

La quasi-totalité des études analysées, à l'exception de celle de Birang et al. [65] qui était un essai clinique contrôlé, présentaient des séries de cas cliniques dont le niveau de preuve était bien entendu faible.

Ce faible niveau de preuve nous laisse donc penser qu'il n'y a pas de bénéfice prouvé à utiliser le laser plutôt que des techniques conventionnelles lors de la première phase implantaire.

Tableau 6 : Résumé des caractéristiques descriptives générales des articles inclus pour répondre à la question 2. (NR : non renseigné ; ECR : essai contrôlé randomisé ; IF : impact factor)

Auteur	Année	Pays	Journal	IF 2018	Objectif de l'étude	Type d'étude	Type de laser	Nombre de patients	Groupe contrôle	Suivi	Variable(s) analysée(s)	Résultats	Conclusion
Birang et al. [65]	2012	Iran	Journal of periodontology and implant dentistry	NR	Traitement des alvéoles infectées avant implantation immédiate	ECR	Er:YAG	15	15	6 mois	Survie implantaire ; Indice de plaque ; Saignements ; Profondeur de poche ; Gencive kératinisée ; Valeurs du Periost	100% de survie ; Pas de différence significative avec le groupe contrôle sur les variables analysées	Pas de complication à 6 mois
Crippa et al. [66]	2019	Italie	Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery	1,913	Décontamination d'alvéoles infectées avant implantation comblement alvéolaire	Série de cas	Er,Cr:YSGG	66	0	6 à 24 mois	Douleur à une semaine ; Infection ; Succès implantaire	94,6% de succès	La combinaison de traitements mécaniques, chimiques et laser s'est avérée très efficace pour la désinfection des sites de post-extraction. Les douleurs post-opératoires étaient faibles.
Ingenegeren [67]	2011	Allemagne	Journal of Interdisciplinary Dentistry	NR	Préparation du lit implantaire au laser	Série de cas	Er,Cr:YSGG	3	0	Cas 1 : 3 semaines Cas 2 : 14 mois Cas 3 : 3 mois	Douleurs ; Stabilité primaire de l'implant	Pas de douleurs postopératoires, très bonne stabilité des implants	Temps opératoire plus long pour préparer le lit implantaire entièrement au laser ; Bonne cicatrisation sans douleurs ; Bonne stabilité primaire
Kusek [64]	2011	USA	Journal of Oral Implantology	1.062	Traitement des alvéoles infectées avant implantation immédiate	Série de cas	Er,Cr:YSGG	20	0	1 an	Charge bactérienne dans l'alvéole ; Succès implantaire	Diminution notable de la charge bactérienne dans l'alvéole et absence de bactérie virulente ; 100% de succès implantaire	Ce protocole permet un gain de temps considérable
Swider et al. [68]	2019	Pologne	Dental and Medical Problems	NR	Préparation du lit implantaire au laser	Case report	Er:YAG	1	0	4 mois	Succès implantaire	100% de succès	Diminution des saignements peropératoires

Tableau 7 : Résumé des paramètres laser dans les articles inclus pour répondre à la question 2. (NR : non renseigné)




Auteur (année)	Laser utilisé	Anesthésie locale	Longueur d'onde (nm)	Energie (J)	Fréquence (Hz)	Puissance (W)	Fluence (J/cm ²)	Fibre	Irrigation	Mode d'émission	Distance entre le laser et le site opératoire	Modalités d'application	Durée d'exposition par application
Birang et al. (2012) [65]	Er:YAG	oui (lidocaine 1/100 000)	2940	0,1	10	NR	12.73	16 x 1 mm	H ₂ O	NR	NR	Unique	1 min
Crippa et al. (2019) [66]	Er,Cr:YSGG	oui (ortocaine 1/100 000)	2790	NR	15	2	NR	Longueur 9 mm	40% Air ; 60% H ₂ O 100 mL/min	Pulsé	Non contact	Unique	60 à 90 sec
Ingenegeren (2011) [67]	Er,Cr:YSGG	oui	2780	tissus mous : 0,1 corticale osseuse : 0,175 os spongieux : 0,150	20	tissus mous : 2 corticale osseuse: 3,5 os spongieux : 0,3	NR	os spongieux : longueur 14mm	tissus mous : 40% air, 40% H ₂ O corticale osseuse : 50% air, 65% H ₂ O os spongieux : 50% air, 55% H ₂ O	Pulsé (140µs)	Non contact	Unique	NR
Ingenegeren (2011) [67]	Er,Cr:YSGG	oui	2780	0,15	20	0,3	NR	14mm	50% air, 50% H ₂ O	Pulsé (140µs)	NR	Unique	NR
Ingenegeren (2011) [67]	Er,Cr:YSGG	oui	2780	tissus mous : 0,125 corticale osseuse : 0,175 os spongieux : 0,150	20	tissus mous : 2,5 corticale osseuse: 3,5 os spongieux : 0,3	NR	NR	tissus mous : 50% air, 50% H ₂ O corticale osseuse : 60% air, 65% H ₂ O	Pulsé (140µs)	NR	Unique	NR
Kusek (2011) [64]	Er,Cr:YSGG	oui (lidocaine et bupivacaine)	2780	NR	20	0,5	NR	NR	14 Air ; 7 H ₂ O	NR	Contact	Unique	1 min
Swider et al. (2019) [68]	Er:YAG	oui (articaine 1/100 000)	2940	0,3	35	NR	39,79 à 59,68	Angle 10° ; 17 x 0,8-1,3 mm	H ₂ O 30 mL/min	Pulsé (300µs)	Non contact (0-2 mm)	Unique	NR

Tableau 8 : Évaluation de la qualité méthodologique des articles inclus pour répondre à la question 2.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Risque de biais global
Birang et al. (2012)	-	-	X	-	+	+	-	-

- D1 : Randomisation
- D2 : Affectation dans un groupe dissimulée
- D3 : Double aveugle
- D4 : Evaluation des résultats en aveugle
- D5 : Résultats incomplets
- D6 : Communication sélective des résultats
- D7 : Autres sources de biais

Jugement

-  Elevé
-  Incertain
-  Faible

Question n°3 : Quels sont les effets de la LLLT sur la néoformation osseuse ?

En 2018, Mikhail et al. [69] ont rapporté que la biostimulation par laser diode pourrait favoriser la cicatrisation osseuse, et accélérerait le processus d'ostéointégration des implants.

Quasi-concomitamment à cette étude, Elsyad et al. en 2019 [70] n'ont révélé aucun effet de la LLLT sur la perte osseuse marginale autour d'implants de faibles diamètres chargés immédiatement chez des patients diabétiques.

Cependant, on remarque que l'évaluation de la néoformation osseuse n'a pas été réalisée selon le même protocole entre les différents auteurs. Mikhail et al. [69] ont eu recours à un logiciel évaluant les différentes radiographies panoramiques réalisées au cours du traitement, et établissant ainsi une échelle de gris interprétable statistiquement. Elsyad et al. [70] quant à eux, ont utilisé le CBCT pour déterminer la densité osseuse.

On ne peut donc pas conclure sur les effets de la LLLT sur l'ostéointégration des implants, les essais cliniques étant trop peu nombreux et avec des méthodologies et protocoles cliniques trop différents, voire non décrits par les auteurs.

Tableau 9 : Résumé des caractéristiques descriptives générales des articles inclus pour répondre à la question 3. (NR : non renseigné ; ECR : essai contrôlé randomisé ; IF : impact factor)

Auteur	Année	Pays	Journal	IF 2018	Objectif de l'étude	Type d'étude	Type de laser	Nombre de patients	Groupe contrôle	Suivi	Variable(s) analysée(s)	Résultats	Conclusion
Elsyad et al. [70]	2019	Egypte	Journal of Oral Implantology	1.062	Effets de la LLLT sur l'ostéointégration et la stabilité d'implants de faible diamètre chez des patients diabétiques équilibrés	ECR (split-mouth)	Diode	20	20 (split-mouth)	12 mois	Stabilité implantaire ; Perte osseuse marginale	Aucun effet de la LLLT sur la perte osseuse marginale ; Stabilité significativement supérieure à 6 mois	La LLLT n'a aucun effet sur la perte osseuse marginale autour des implants de petits diamètres chargés immédiatement chez les patients diabétiques. En revanche, la LLLT améliore la stabilité de l'implant à 6 mois .
Mikhail et al. [69]	2018	Egypte	Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences	NR	Effets de la LLLT sur l'ostéointégration d'implants chez des patients sous Vitamine C, Omega 3 et Calcium	ECR	Diode	10	10	6 mois	Évaluation radiodensitométrique des changements de la densité osseuse le long de l'interface os-implant au niveau mésial, distal et apical	La cicatrisation était significativement meilleure dans le groupe laser	La LLLT a considérablement favorisé la cicatrisation osseuse et a accéléré le processus d'ostéointégration.

Tableau 10 : Résumé des paramètres laser dans les articles inclus pour répondre à la question 3. (NR : non renseigné)

Auteur (année)	Laser utilisé	Anesthésie locale	Longueur d'onde (nm)	Energie (J)	Fréquence (Hz)	Puissance (mW)	Fluence (J/cm ²)	Fibre	Diamètre d'application	Mode d'émission	Distance entre le laser et le site opératoire	Modalités d'application	Durée d'exposition par application (sec)
Elsyad et al. (2019) [70]	Diode	Non	940	90 (6 par point d'application)	NR	0.50 ± 2	NR	300 µm	0.004 cm ²	Continu	Non-contact (2-3 mm)	6 points d'irradiation	360
Mikhail et al. (2018) [69]	Diode	Non	904	NR	NR	20	4.7	NR	4 mm	Continu	Contact	9 sessions au cours de la 1 ^{ère} semaine postopératoire (J2, J4 et J6), 3 séances par jour avec une période de repos (1h) entre chaque séance.	30

Tableau 11 : Évaluation de la qualité méthodologique des articles inclus pour répondre à la question 3.

- D1 : Randomisation
- D2 : Affectation dans un groupe dissimulée
- D3 : Double aveugle
- D4 : Evaluation des résultats en aveugle
- D5 : Résultats incomplets
- D6 : Communication sélective des résultats
- D7 : Autres sources de biais

Jugement



Elevé



Incertain



Faible

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Risque de biais global
Elsyad et al. (2019)	+	-	X	+	+	+	-	-
Mikhail et al. (2018)	-	-	X	-	+	+	-	-

Question n°4 : Quels sont les effets de la LLLT sur la stabilité implantaire primaire ?

Les effets de la LLLT par laser diode sur la stabilité implantaire semblent controversés.

En effet, plusieurs auteurs ont rapporté des résultats positifs, suggérant que la biostimulation était bénéfique sur la stabilité implantaire comme Elsyad et al. (2019) [70], Mandic et al. (2015) [71], Karaca et al. (2018) [72], Memarian et al. (2018) [73] et Mohajerani et al. (2019) [74].

Il n'y avait cependant pas d'effet sur les marqueurs de l'inflammation ou sur l'activité de l'alcaline phosphatase selon Memarian et al. [73] et Mandic et al. [71].

Pinheiro et al. (2006) [75], Elsyad et al. [70] ont suggéré que l'augmentation de stabilité primaire observée dans le groupe laser pouvait être due à une prolifération cellulaire accrue et à la formation d'une matrice osseuse favorisée par l'effet bio-modulateur du laser pendant la phase précoce de prolifération et différenciation cellulaire. Le dépôt accru de matrice osseuse aurait amélioré l'incorporation d'hydroxyapatite et augmenté ainsi la densité osseuse.

Plusieurs dispositifs peuvent être utilisés pour évaluer la stabilité implantaire. Le dispositif Periotest® a été choisi par Elsyad et al. [70] et Memarian et al. [73] car il est sensible à la détection d'une défaillance précoce de l'implant et de ce fait une plus grande capacité à évaluer sa stabilité pendant la phase d'intégration.

Bien que certaines études suggèrent que l'analyse par résonance de fréquence (RFA) via le dispositif Osstell® (utilisé par Mandic et al. [71], Karaca et al. [72], Mohajerani et al. [74] Garcia-Morales et al. [76], Torkzaban et al. [77], Gileva et al. [78] et Gokmenoglu et al. [79]) est plus précise que le dispositif Periotest® pour évaluer la stabilité de l'implant primaire, son utilisation peut être impossible dans certains cas. Parmi les cas concernés, on trouve par exemple les implants monoblocs.

Garcia-Morales et al. (2012) [76], Torkzaban et al. (2018) [77], Gileva et al. (2018) [78] et Gokmenoglu et al. (2014) [79] n'ont quant à eux pas trouvé d'amélioration significative de la stabilité implantaire après biostimulation au laser diode. Néanmoins, Gokmenoglu et al. (2014) [79] ont conclu que la biostimulation par laser LED pourrait empêcher la perte de stabilité des implants, et ainsi permettre une mise en charge plus précoce.

Les articles inclus, dont la plupart présentaient une bonne méthodologie, semblent avoir montré que la LLLT avait un effet bénéfique sur la stabilité implantaire primaire.

Il serait intéressant d'effectuer de nouvelles études, avec différents paramètres de LLLT et différentes conditions osseuses afin d'évaluer d'autres résultats possibles et d'obtenir une meilleure compréhension des effets de la biostimulation au niveau de l'interface os-implant.

Tableau 12 : Résumé des caractéristiques descriptives générales des articles inclus pour répondre à la question 4. (NR : non renseigné ; ECR : essai contrôlé randomisé ; IF : impact factor)

Auteur	Année	Pays	Journal	IF 2018	Objectif de l'étude	Type d'étude	Type de laser	Nombre de patients	Groupe contrôle	Suivi	Variable(s) analysée(s)	Résultats	Conclusion
Elsyad et al. [70]	2019	Egypte	Journal of Oral Implantology	1.062	Effets de la LLLT sur l'ostéointégration et la stabilité d'implants de faible diamètre chez des patients diabétiques équilibrés	ECR (split-mouth)	Diode	20	20 (split-mouth)	12 mois	Stabilité implantaire (PerioTest) ; Perte osseuse marginale	Aucun effet de la LLLT sur la perte osseuse marginale ; Stabilité significativement supérieure à 6 mois	Pas d'effet de la LLLT sur la perte osseuse marginale, mais elle peut être bénéfique pour améliorer la stabilité de l'implant 6 mois après la pose de la prothèse.
Garcia-Morales et al. [76]	2012	Brésil	Lasers in Medical Science	2.076	Effets de la LLLT sur la stabilité implantaire	ECR (split-mouth)	Diode	8	8 (split-mouth)	3 mois	Stabilité implantaire (analyse par résonance de fréquence (RFA))	Stabilité augmentée dans le groupe laser à partir du 10e jour, sans significativité ; Stabilité dans le groupe laser diminué entre J10 et la 6ème semaine postopératoire	Aucun effet de la LLLT sur la stabilité des implants au long terme a été mise en évidence.
Gileva et al. [78]	2018	Russie	Russian Journal of Biomechanics	NR	Effets de la LLLT sur la stabilité implantaire primaire et secondaire	ECR	Diode	15	15	6 mois	Stabilité implantaire (RFA)	Pas de différence significative de stabilité entre les groupes	Pas de différence significative de stabilité entre les groupes.
Gokmenoglu et al. [79]	2014	Turquie	Photomedicine and Laser Surgery	1.913	Effets du LED sur la stabilité implantaire	ECR	LED	7	8	12 semaines	Stabilité implantaire (PerioTest) ; Marqueurs inflammatoires	Pas de différence significative de stabilité entre les groupes	Le laser LED semble empêcher la perte de stabilité et donc permettre de charger des implants plus précocement.
Karaca et al. [72]	2018	Turquie	Nigerian Journal of Clinical Practice	0.43	Effets de la LLLT et de l'ozone thérapie sur la stabilité implantaire	ECR	Diode	25 (100 implants dans 4 groupes : LLLT : 2 groupes ozone ; contrôle)	NR (25 implants)	6 mois	Stabilité implantaire (RFA) ; Survie implantaire ; Douleur ; Indice de plaque ; Saignement au sondage	Stabilité significativement supérieure dans les groupes laser et ozone ; 92% de survie implantaire ;	L'ozone et les thérapies laser fournissent de nouvelles perspectives aux thérapies visant à améliorer la stabilité des implants.

Mandic et al. [71]	2015	Serbie	Vojnosanitetski preglod	0.272	Effets de la LLLT sur la stabilité implantaire	ECR (split-mouth)	Diode	12	12 (split-mouth)	6 semaines	Stabilité implantaire (RFA)	Amélioration significative de la stabilité dans le groupe laser à partir de la 5 ^{ème} semaine postopératoire ; Pas de différence d'activité de l'alkaline phosphatase	La LLLT n'a exprimé aucune influence significative sur l'ostéointégration des implants autoaraudants placés dans l'os de faible densité.
Memarian et al. [73]	2018	Iran	Dental Research Journal	NR	Effets de la LLLT et du LED sur la stabilité implantaire et les marqueurs inflammatoires (IL1B et PGE2)	ECR (split-mouth)	Diode ou LED	12	12 (split-mouth)	2 mois	Stabilité implantaire (PerioTest) ; Marqueurs inflammatoires	Effets positifs de la LLLT et du LED à 3 semaines ; Pas d'effets sur les marqueurs de l'inflammation	La LLLT a une influence positive sur la stabilité implantaire après 3 semaines.
Mohajerani et al. [74]	2019	Iran	Journal of Oral and Maxillofacial Surgery	1.781	Effets de la LLLT et du LED sur la stabilité implantaire	ECR	Diode et LED	28	28	9 semaines	Stabilité implantaire (RFA)	Augmentation de la stabilité implantaire à 9 semaines	L'utilisation simultanée du laser LED et de la LLLT ont entraîné une stabilité accrue des implants après 9 semaines de suivi.
Torkzaban et al. [77]	2018	Iran	Lasers in Medical Science	2.076	Effets de la LLLT sur la stabilité implantaire	ECR	Diode	19 (20 implants)	19 (20 implants)	12 semaines	Stabilité implantaire (RFA)	Pas d'effet significatif de la LLLT sur la stabilité implantaire	Pas d'effet significatif de la LLLT sur la stabilité implantaire.

Tableau 13 : Résumé des paramètres laser dans les articles inclus pour répondre à la question 4. (NR : non renseigné)

Auteur (année)	Laser utilisé	Anesthésie locale	Longueur d'onde (nm)	Energie (J)	Fréquence (kHz)	Puissance (mW)	Fluence (J/cm ²)	Fibre	Diamètre d'application	Mode d'émission	Distance entre le laser et le site opératoire	Modalités d'application	Durée d'exposition par application
Elsyad et al. (2019) [70]	Diode	Non	940	90 (6 par point d'application)	NR	0.50 ± 2	NR	300 µm	0.004 cm ²	Continu	Non-contact (2-3 mm)	6 points d'irradiation	360 sec
Garcia-Morales et al. (2012) [76]	Diode	Non	830	5 (0.25 par point d'application)	NR	86 ± 2	92.1	NR	0.0028 cm ²	Continu	Contact	20 points d'irradiation ; Toutes les 48h pendant 14 jours	60 sec (3 sec par point)
Gileva et al. (2018) [78]	Diode	Non	808	14.4 par minute	14	250	3.2 par minute	NR	4,5 cm ²	Pulsé	Contact	1 session 2-3 jours avant la chirurgie puis ; 2 à 3 séances par jour pendant 7 à 10 jours	8 min
Gokmenoglu et al. (2014) [79]	LED	Non	626	222 par implant	NR	185 (38.5 par cm ²)	46.2	NR	4,8 cm ²	NR	Non-contact (hors de la bouche)	3 fois/semaine pendant 3 semaines	20 min
Karaca et al. (2018) [72]	Diode	Non	830	5 (0.25 par point d'application)	NR	86 ± 2	92.1	NR	0.0028 cm ²	Continu	Contact	20 points d'irradiation ; Toutes les 48h pendant 14 jours	60 sec (3 sec par point)
Mandic et al. (2015) [71]	Diode	Non	637	NR	NR	40	6.26	NR	NR	Continu	Non-contact (1cm)	Toutes les 24h pendant 7 jours	NR
Memarian et al. (2018) [73]	Diode	Non	810	NR	NR	50	20	NR	1 cm ²	Continu	Contact	J0, J3, J7, J10 et J14	400 sec
Memarian et al. (2018) [73]	LED	Non	626	222 par implant	NR	185 (38.5 par cm ²)	46.2	NR	4,8 cm ²	NR	Non-contact (hors de la bouche)	J0, J3, J7, J10 et J14	20 min
Mohajerani et al. (2019) [74]	Diode	Non	830	NR	NR	10	NR	NR	0.0015 cm ²	NR	Non-contact (hors de la bouche)	20 min/jour pendant 10 jours	20 min/jour pendant 10 jours
Mohajerani et al. (2019) [74]	LED	Non	632	NR	NR	10 par cm ²	NR	NR	NR	NR	Non-contact (hors de la bouche)	20 min/jour pendant 10 jours	20 min/jour pendant 10 jours
Torkzaban et al. (2018) [77]	Diode	Non	940	56 (en 7 sessions)	NR	100	14.18	6 mm	0.2826 cm ²	Continu	Contact	8J par session en 2 points d'irradiation à J2, J4, J6, J8, J10 et J12	40 sec

Tableau 14 : Évaluation de la qualité méthodologique des articles inclus pour répondre à la question 4

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Risque de biais global
Elsyad et al. (2019)	+	-	X	+	+	+	-	-
Garcia-Morales et al. (2012)	-	+	+	+	+	+	-	+
Gileva et al. (2018)	-	-	X	-	+	+	-	-
Gokmenoglu et al. (2014)	X	+	X	-	+	+	-	X
Karaca et al. (2018)	X	-	-	-	+	+	-	-
Mandic et al. (2015)	+	+	+	+	+	+	-	+
Memarian et al. (2018)	X	-	-	-	+	+	-	-
Mohajerani et al. (2019)	+	+	-	-	+	+	-	+
Torkzaban et al. (2018)	X	+	-	-	+	+	-	+

D1 : Randomisation
 D2 : Affectation dans un groupe dissimulée
 D3 : Double aveugle
 D4 : Evaluation des résultats en aveugle
 D5 : Résultats incomplets
 D6 : Communication sélective des résultats
 D7 : Autres sources de biais

Jugement
 X Elevé
 - Incertain
 + Faible

5.3.4 Laser pendant la deuxième phase implantaire

Question n°5 : Dans quelles indications et pour quel bénéfice utiliser le laser pendant la deuxième phase implantaire ?

Al-Delayme et al. (2017, 2019) [80] [81], Tunc et al. (2019) [82], Kaur et al. (2018) [83], Yao et al. (2019) [84], El Kholey et al. (2014) [85], Gianfranco et al. (2010) [86] et Swider et al. (2019) [68] ont étudié l'action du laser diode pendant la deuxième phase implantaire. Leurs résultats ont été très satisfaisants, mettant en avant plusieurs avantages à son utilisation. On a ainsi observé une réduction significative de la douleur, de l'œdème et des saignements post-opératoires ainsi qu'une meilleure hémostase, améliorant la visibilité pendant l'acte et réduisant considérablement le temps nécessaire à la prise d'empreinte.

Al-Delayme et al. [81] et Swider et al. [68] ont affirmé aussi que ce laser était un bon outil pour confectionner un profil d'émergence qui permettent de préserver les tissus kératinisés.

Le laser Er-YAG a aussi été testé pour réaliser cette operculisation de l'implant, comme l'ont étudié Yao et al. (2019) [84], Arnabat- Dominguez et al. (2003) [87], Gianfranco et al. (2010) [86] et Matys et al. (2016) [88]. Ce laser a présenté les mêmes avantages que le laser diode, s'y ajoutant une incision plus rapide, un meilleur confort du patient et un temps de guérison plus court. Ceci explique pourquoi Yao et al. [84] et Gianfranco et al. [86] l'ont préféré comparativement au laser diode.

Arnabat- Dominguez et al. [87] ont observé une guérison complète des tissus à partir du 5^{ème} jour post-opératoire, permettant une réhabilitation prothétique permanente plus rapide.

Tunc et al. (2019) [82] et Arnabat-Domínguez et al. (2010) [89] ont assuré que le laser Er,Cr-YSGG était performant pour réaliser la phase II et la suppression d'hyperplasies gingivales dans les zones adjacentes aux implants. Néanmoins, Tunc et al. [82] ont préféré le laser diode pour sa plus petite taille et son coût plus bas.

On remarque que la plupart du temps, les auteurs ont pu s'affranchir de l'anesthésie locale quel que soit le laser utilisé pour réaliser la phase II, les douleurs étant significativement réduites. Cette méthode de chirurgie laser-assistée serait donc moins traumatique pour le patient car cela pourrait permettre de s'affranchir des scalpels et autres instruments chirurgicaux davantage « agressifs ».

Enfin, il faut noter que les indications de cette technique sont limitées par la nécessité de maintenir la présence des tissus kératinisés autour de l'implant et par des exigences esthétiques qui impliquent des techniques de lambeaux ou l'amélioration du tissu gingival. [87]

La présence de nombreux biais méthodologiques dans l'ensemble des essais cliniques inclus laisse penser que les résultats de ces études restent à confirmer.

On peut donc répondre que l'utilisation du laser pour la phase II implantaire peut être envisagée sans risque, avec des bénéfices cliniques supposés liés à la consommation d'anesthésie et d'antalgiques, ainsi qu'à la réduction du délai nécessaire à la prise d'empreinte.

Tableau 15 : Résumé des caractéristiques descriptives générales des articles inclus pour répondre à la question 5. (ECR : essai contrôlé randomisé ; EC : étude comparative ; IF : impact factor)

Auteur	Année	Pays	Journal	IF 2018	Objectif de l'étude	Type d'étude	Type de laser	Nombre de patients	Groupe contrôle	Suivi	Variable(s) analysée(s)	Résultats	Conclusion
Al-Delayme et al. [81]	2019	Irak	European Oral Research	0	Efficacité de la phase 2 au laser	ECR split mouth	Diode	73	73 (split mouth)	3 semaines	Complications postopératoires ; Qualité et la quantité de gencive kératinisée ; Précision du profil d'émergence	Réduction significative de la douleur et des saignements postopératoires ; Oedème significativement inférieur ; Couleur gingivale et profil d'émergence significativement meilleurs ; Temps d'empreinte plus court	Laser recommandé pour préparer un profil d'émergence précis ; Préservation des tissus kératinisés
Al-Delayme et al. [80]	2017	Irak	International Journal of Oral and Craniofacial Science	0	Efficacité de la phase 2 au laser	ECR	Diode	11	10	6 mois	Épaisseur des tissus mous ; Nécessité d'une anesthésie ; Durée de l'intervention ; Saignements ; Douleur ; Couleur de la gencive	Douleur postopératoire minimale ; Diminution de l'œdème ; Réponse inflammatoire moindre ; Meilleure hémostase ; Cicatrisation régulière ; Réduction du temps nécessaire à la prise d'empreinte ; Amélioration de la qualité de vie des patients.	Laser diode efficace pour les phases 2
Arnabat-Dominguez et al. [87]	2003	Espagne	The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants	1.734	Efficacité de la phase 2 au laser	EC	Er:YAG	10	10	6 mois	Douleur ; Durée de l'intervention ; Consommation d'analgésiques ; Nécessité d'une anesthésie ; Etat des tissus mous ; Saignements ; Succès ; Temps de prise d'empreinte	L'utilisation du laser a permis d'éviter l'anesthésie locale et de minimiser la douleur et le temps postopératoire nécessaires avant la prise d'empreinte ; Aucune différence significative dans les autres paramètres	Plusieurs avantages : simplicité technique, anesthésie non nécessaire, absence de douleur et d'œdème postopératoires et guérison complète des tissus dès le 5 ^{ème} jour permettant une réhabilitation prothétique rapide. Technique non utilisable dans les zones esthétiques ou en cas d'absence de gencive kératinisée autour de l'implant.

Arnabat-Dominguez et al. [89]	2010	Espagne	Lasers in Medical Science	2.076	Efficacité de la phase 2 au laser	Série de cas	Er,Cr:YSGG	3	0	24 mois	Douleur ; Durée de l'intervention ; Consommation d'analgésiques ; Nécessité d'une anesthésie ; Etat des tissus mous ; Saignements ; Succès ; Temps de la prise d'empreinte ; Complications ; Esthétique	Douleur postopératoire plus faibles ; Temps de prise d'empreinte réduit ; Résultats esthétiques supérieurs ; Aucune complication	Le laser Er,Cr:YSGG est efficace pour les phases 2, ainsi que pour la suppression d'hyperplasies gingivales dans les zones adjacents aux implants.
El Kholey et al. [85]	2014	Arabie-Saoudite	International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery	1.961	Efficacité de la phase 2 au laser	ECR	Diode	15	15	6 mois	Anesthésie ; Durée de la chirurgie ; Saignement peropératoire ; Douleur postopératoire ; Temps de la prise d'empreinte	Différence significative entre les 2 groupes en ce qui concerne la nécessité d'une anesthésie. Aucune différence significative dans les autres paramètres.	Laser diode efficace pour la phase 2
Gianfranco et al. [86]	2010	Italie	Timisoara Medical Journal	0	Efficacité des laser Er:YAG et diode pendant la phase 2	Série de cas	Er:YAG et diode	2	0	7 jours	Temps opératoire ; confort du patient ; douleurs per et postopératoires ; saignements ; nécessité d'anesthésie ; surchauffe tissulaire	Anesthésie non nécessaire ; bonne hémostase ; bonne guérison sur les 2 cas	Bonnes performances cliniques des 2 lasers employés. Préférence pour le laser Er:YAG : incisions plus rapide, meilleur confort du patient et cicatrisation plus rapide.
Kaur et al. [83]	2018	Inde	Journal of Indian Society of Periodontology	0	Efficacité de la phase 2 au laser	ECR	Diode	10	10	7 jours	Quantité d'anesthésie ; Durée de la chirurgie ; Saignements ; Douleur ; Cicatrisation ; Temps de prise d'empreinte	Phase 2 au laser plus efficace ; temps de prise d'empreinte significativement plus court ; Pas de différence dans la cicatrisation	Laser diode minimise le traumatisme chirurgical (réduction du temps opératoire), réduit la quantité d'anesthésie, améliore la visibilité pendant la chirurgie grâce à l'absence de saignement et élimine l'inconfort postopératoire.
Matys et al. [88]	2016	Pologne	Advances in Clinical and Experimental Medicine	1.227	Evaluation de la douleur post-opératoire après phase 2 au laser	ECR	Er:YAG	30	30 (split mouth)	0	Douleur	Différence significative dans les scores de douleur	Le laser Er:YAG réduit la douleur et permet de réaliser des interventions chirurgicales mineures sans anesthésie ; Bonne qualité des empreintes

Swider et al. [68]	2019	Pologne	Dental and Medical Problems	0	Préparation du lit implantaire au laser et efficacité de la phase 2 au laser	Case report	Diode	1	0	4 mois	Succès implantaire	100% de succès	Diminution des saignements périopératoires, lambeau réalisé au laser pour gagner en tissu kératinisé.
Tunc et al. [82]	2019	Turquie	Saudi Medical Journal	1.055	Comparer l'efficacité des laser Er,Cr:YSGG et diode pendant la phase 2	EC	Groupe 1 : diode Groupe 2 : Er,Cr:YSGG	Groupe 1 : 20 Groupe 2 : 20	0	3 jours	Consommation d'analgiques postopératoires ; Saignement périopératoire ; Inflammation des tissus mous ; Oedème	Douleur significativement supérieure chez les hommes ; Aucune différence significative dans les autres paramètres	Privilégier le laser diode.
Yao et al. [84]	2019	Chine	Lasers in Dental Science	0	Efficacité des laser Er:YAG et diode pendant la phase 2	ECR	Er:YAG et diode	40 (4 groupes)	40 (4 groupes)	3 mois	Temps de cicatrisation ; Précision du geste ; Durée opératoire	Temps opératoire significativement inférieur pour G1 et G4. La plus grande déviation entre l'incision laser et le centre de l'implant a eu lieu dans le G4. Aucune différence de précision entre G1, G2 et G3. Le temps de cicatrisation le plus court est retrouvé dans les 2 groupes utilisant le laser Er:YAG Lite-touch, avec ou sans guide chirurgical. Parmi les 4 protocoles, c'est le G3 (laser diode) qui a eu le temps de cicatrisation le plus long.	Le laser Er:YAG présente un temps de guérison plus court que le laser à diode ; Le fonctionnement du laser avec contact offre une plus grande précision que le fonctionnement sans contact.

Tableau 16 : Résumé des paramètres laser dans les articles inclus pour répondre à la question 5. (NR : non renseigné)

Auteur	Année	Laser utilisé	Anesthésie locale	Longueur d'onde (nm)	Energie (J)	Fréquence (Hz)	Puissance (W)	Fluence (J/cm ²)	Fibre	Irrigation	Mode d'émission	Distance entre le laser et le site opératoire	Modalités d'application	Durée d'exposition par application
Al-Delayme et al. [81]	2019	Diode	Non	940 ±10	NR	NR	0.9	NR	9 mm x 300 µm	NR	Pulsé (100µs toutes les 200µs)	NR	Unique	NR
Al-Delayme et al. [80]	2017	Diode	Anesthésie nécessaire sur 4 patients du groupe laser	940 ±10	NR	NR	0.9	NR	9 mm x 300 µm	NR	Pulsé (100µs toutes les 200µs)	NR	Unique	NR
Arnabat- Dominguez et al. [87]	2003	Er:YAG	Anesthésie nécessaire pour 2 patients	2940	0,250 à 0,5	2 à 4	NR	NR	NR	0,3mL/min	NR	Non-contact (14mm)	Unique	NR
Arnabat-Dominguez et al. [89]	2010	Er,Cr:YSGG	Non	2780	NR	NR	1	NR	600 µm	10% H ₂ O + 15% air	NR	Non-contact (0,5cm, angle 90°)	Unique	1min
El Kholey el al. [85]	2014	Diode	Anesthésie nécessaire pour 1 patient	970	NR	NR	4	NR	320 µm	NR	Continu	NR	Unique	NR
Gianfranco et al. [86]	2010	Er:YAG	Non	2940	0,25	20	NR	125	Pièce à main	NR	Pulsé (100µs)	NR	Unique	NR
Gianfranco et al. [86]	2010	Diode	Non	810	NR	NR	2	NR	300 µm	NR	Continu	Non-contact (1 à 1,5mm)	Unique	NR
Kaur et al. [83]	2018	Diode	Oui	810	NR	NR	1.5	NR	NR	NR	Continu	NR	Unique	NR
Matys et al. [88]	2016	Er:YAG	Non	2940	0,3	18	NR	38.21	1.0 x 17 mm ; Angle 70°	H ₂ O 40%	Pulsé	Non-contact (2mm)	Unique	NR
Swider et al. [68]	2019	Diode	Oui, artificielle 4%	980	NR	NR	1,5	NR	200 µm, angle 90°	Non	Continu	Contact	Unique	NR
Tunc et al. [82]	2019	Diode	Non	940	NR	NR	1.25	NR	400 µm	NR	Pulsé (1ms toutes les 1ms)	NR	Unique	NR
Tunc et al. [82]	2019	Er,Cr:YSGG	Non	2780	NR	100	2	NR	6 mm	10% H ₂ O + 10% air	Pulsé	NR	Unique	NR
Yao et al. [84]	2019	Er:YAG	NR	2940	0,1	10	NR	NR	1.3 x 19 mm	H ₂ O niveau 6	Pulsé	Contact	Unique	NR
Yao et al. [84]	2019	Diode	NR	980	NR	NR	3	NR	320 µm	NR	Continu	Contact	NR	NR
Yao et al. [84]	2019	Er:YAG	NR	2940	0,1	10	NR	NR	Pièce à main	H ₂ O niveau 6	Pulsé	Non-contact	Unique	NR

Tableau 17 : Évaluation de la qualité méthodologique des articles inclus pour répondre à la question 5.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Risque de biais global
Al-Delayme et al. (2017)								
Al-Delayme et al. (2019)								
El Kholey al. (2014)								
Kaur et al. (2018)								
Matys et al. (2016)								
Tunc et al (2019).								
Yao et al. (2019)								

D1 : Randomisation
 D2 : Affectation dans un groupe dissimulée
 D3 : Double aveugle
 D4 : Evaluation des résultats en aveugle
 D5 : Résultats incomplets
 D6 : Communication sélective des résultats
 D7 : Autres sources de biais

Jugement
 Elevé
 Incertain
 Faible

5.3.5 Laser et péri-implantites

Question n°6 : Le laser est-il un outil efficace dans le traitement des péri-implantites ?

Les maladies péri-implantaires sont de nature complexe, prenant en compte de nombreux facteurs de risque, et à ce jour aucun « gold standard » concernant leur traitement n'a été décrit. Il existe donc dans la littérature de nombreux protocoles associant des thérapeutiques chirurgicales et non chirurgicales.

Le traitement des maladies péri-implantaires comporte plusieurs objectifs [90] :

- Le contrôle des infections,
- La désinfection des surfaces implantaires,
- La régénération des tissus perdus,
- Le contrôle de plaque à long terme.

Le laser est une thérapeutique non chirurgicale, visant à réaliser la décontamination des surfaces implantaires et favoriser la cicatrisation des tissus.

Quel que soit le protocole utilisé, le traitement doit commencer par l'identification et le contrôle des facteurs de risques. [91]

Bassetti et al. (2013) [92], Birang et al. (2017) [93], Caccianiga et al. (2016) [94], Arisan et al. (2015) [95], Karimi et al. (2016) [96], Romeo et al. (2016) [97], Al Amri et al. (2016) [98], Javed et al. (2016) [99] et Bombeccari et al. (2013) [100] ont rapporté de bons résultats à court terme pour un protocole associant PDT et débridement mécanique, réduisant ainsi les marqueurs de l'inflammation, mais l'on n'a pas observé de différence significative sur la cicatrisation au long terme comparativement au traitement conventionnel.

Décrite dans le §3.4, la PDT présente un avantage majeur de par sa très grande spécificité vis-à-vis des cellules cibles, sa biocompatibilité envers les cellules humaines saines, son faible risque d'effets thermiques et/ou chimiques et sa faible probabilité de résistance bactérienne. Plusieurs études démontrent que la charge bactérienne est considérablement réduite après l'utilisation de la PDT, comme en témoignent Birang et al. [93]

Dans leur étude de 2018 utilisant le laser diode, Salaria et al. [101] ont capté un bon contrôle de la maladie et de ses complications habituellement associées, ainsi qu'une amélioration de l'environnement péri-implantaire favorisant la régénération.

Lerario et al. en 2016 [102] ont aussi recueilli des résultats montrant une diminution significative de la profondeur de poche dans le groupe ayant eu recours au laser diode. En 2018, Valente et al. [103] ont décrit un protocole combiné alliant chirurgie et décontamination (débridement sous lambeau, doxycycline, peroxyde d'hydrogène, laser diode et régénération guidée), comme étant une option de traitement valide et recommandable en cas d'implants présentant une résorption osseuse sévère à la suite de maladie péri-implantaire.

Par ailleurs Papadopoulos et al. (2015) [104] n'ont pas trouvé d'effet bénéficiaire supplémentaire au laser diode, avec une étude dont la méthodologie était particulièrement solide.

En utilisant le laser Nd-YAG, Abduljabbar et al. (2017) [105] et Nicholson et al. (2014) [106] ont obtenu des résultats similaires à ceux vus avec les lasers diodes, rapportant des améliorations à court terme mais là aussi sans différence significative au long terme.

Persson et al. (2011) [107], Schwarz et al. (2011, 2015, 2016) [108] [109] [110], Pommer et al. (2016) [111], Norton et al. (2017) [112] et John et al. (2017) [113] ont quant à eux utilisé un laser Er-YAG. Le traitement semble avoir été efficace au long terme mais son succès ne semble pas différer entre une décontamination laser et un débridement conventionnel.

Quel que soit le type de laser utilisé, les auteurs s'accordent donc sur le fait que la thérapie laser ne suffit pas à elle seule à guérir les maladies péri-implantaires.

Le laser reste un outil complémentaire aux protocoles conventionnels (débridement mécanique manuel ou ultrasonore, chirurgie régénératrice, air-abrasion) pour réaliser la décontamination des surfaces implantaires.

Pour conclure sur cette question, l'état actuel de la littérature et les études disponibles à ce jour ne permettent pas d'affirmer l'efficacité des lasers au long terme dans le traitement des maladies péri-implantaires. Sa supériorité par rapport aux instrumentations conventionnelles n'est pas prouvée.

La comparaison inter-études est rendue difficile par le fait que les études en question ne s'intéressent pas aux mêmes stades de péri-implantites, certaines étant sévères (profondeur de poche supérieure à 5mm) et d'autres modérées (profondeur de poche comprise entre 3 et 5mm).

Ceci laisse à penser que l'efficacité du laser dépend de la sévérité de la péri-implantite.

On peut également relever que les fréquences et les durées d'application sont différentes d'une étude à l'autre, ce qui peut faire varier les résultats obtenus.

Tableau 18 : Résumé des caractéristiques descriptives générales des articles inclus pour répondre à la question 6. (ECR : essai contrôlé randomisé ; EC : étude comparative ; IF : impact factor)

Auteur	Année	Pays	Journal	IF 2018	Objectif de l'étude	Type d'étude	Type de laser	Nombre de patients	Groupe contrôle	Suivi	Variable(s) analysée(s)	Résultats	Conclusion
Abduljabbar et al. [105]	2017	Arabie-Saoudite	Journal of Photochemistry & Photobiology	4.067	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : décontamination au laser	ECR	Nd:YAG	31	32	6 mois	Indice de plaque ; Saignement au sondage ; Profondeur de poche	Pas de différence significative entre les groupes à 6 mois ; Amélioration significative dans le groupe laser à 3 mois	Nd:YAG associé au débridement mécanique apporte de meilleurs résultats à court terme (réduction des paramètres de l'inflammation), mais pas de différence à long terme.
Al Amri et al. [98]	2016	Arabie-Saoudite	Photodiagnosis and Photodynamic Therapy	2.589	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : effets du traitement adjuvant par PDT chez des patients diabétiques équilibrés	EC	Diode	34	33	12 mois	HbA1c ; Saignement au sondage ; Profondeur de poche ; Perte osseuse marginale	Amélioration significative de l'HbA1c dans les 2 groupes ; Amélioration significative de la profondeur de poche et du saignement au sondage dans le groupe laser par rapport au contrôle ; Pas de différence sur la perte osseuse	L'association d'un débridement mécanique et de la PDT est plus efficace pour le traitement des péri-implantites chez les patients diabétiques de type 2, par rapport à un débridement mécanique seul.
Arisan et al. [95]	2015	Turquie	Photomedecine and laser surgery	1.913	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : effets du traitement adjuvant par PDT	ECR (split-mouth)	Diode	10	10 (split-mouth)	6 mois	Profondeur de poche ; Comptage bactérien ; Perte osseuse marginale ;	Pas de différence significative entre les groupes	Le laser n'a produit aucune influence positive supplémentaire sur la cicatrisation péri-implantaire par rapport aux méthodes conventionnelles.
Bassetti et al. [92]	2013	Suisse	Clinical oral implants research	3.825	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : comparer les effets de traitements adjuvants par PDT ou minocycline	ECR	Diode	20 (LLLTT et 20 (minocycline))	0	12 mois	Saignement au sondage ; Profondeur de poche ; Niveau d'attache clinique ; Récession gingivale ; Charge bactérienne ; Niveaux de biomarqueurs dans le fluide gingival	Pas de différence significative entre les groupes	Le débridement chirurgical associé à la PDT est aussi efficace que celui associé avec la minocycline, et peut représenter une alternative à ce dernier.

Birang et al. [93]	2017	Iran	Journal of Lasers in Medical Sciences	0	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : comparaison décontamination au laser vs traitement adjuvant par PDT	ECR	Diode	20 (40 implants)	20 (40 implants)	3 mois	Saignement au sondage ; Profondeur de poche ; Indice de plaque ; Analyse microbiologique par RT-PCR	Amélioration significative à court terme de tous les paramètres dans les deux groupes	Les thérapies au laser diode seules ou associées à la PDT ont des avantages significatifs à court terme dans le traitement de la péri-implantite primaire. La PDT semble réduire les signes de l'inflammation, mais la décontamination bactérienne n'est pas meilleure que le traitement chirurgical conventionnel.
Bombeckari et al. [100]	2013	Italie	Implant Dentistry	1.214	Traitement chirurgical des péri-implantites : comparaison de la chirurgie avec un traitement adjuvant par PDT	ECR	Diode	20	20	6 mois	Saignement au sondage ; Inflammation ; Comptage bactérien anaérobie	Amélioration des marqueurs de l'inflammation dans le groupe laser ; Pas de différence entre les groupes pour les autres variables	La PDT à haute puissance (HLLT) semble être un bon complément au traitement chirurgical de la péri-implantite.
Caccianiga et al. [94]	2016	Italie	BioMed Research International	2.197	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : effets de la décontamination bactérienne par traitement adjuvant par PDT	Série de cas	Diode	10	0	6 mois	Indice de plaque ; Saignement au sondage ; Profondeur de poche ; Radiographie ; Analyse microbiologique par RT-PCR	Diminution des valeurs de toutes les variables analysées ; Persistance de Eikenella corrodens	
Javed et al. [99]	2016	Etats-Unis	Photodiagnosis and Photodynamic Therapy	2.589	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : effets du traitement adjuvant par PDT chez des patients fumeurs	ECR	Diode	41	43	12 mois	Saignement au sondage ; Profondeur de poche ; Perte osseuse marginale	Pas de différence significative entre les groupes à 1 an ; Amélioration significative de la profondeur de poche à 6 mois dans le groupe laser	La PDT associée au débridement mécanique apporte de meilleurs résultats à court terme, mais pas de différence à long terme.
John et al. [113]	2017	Allemagne	Journal of Clinical Periodontology	4.164	Traitement non-chirurgical des péri-implantites (implants en zircone) : effets de la décontamination au laser	Série de cas	Er:YAG	13 (16 implants)	0	3 ans	Saignement au sondage ; Profondeur de poche	Diminution des variables analysées	Les deux protocoles (débridement mécanique + chlorhexidine / laser Er:YAG) sont efficaces au long terme, mais ne parviennent pas totalement à éradiquer la péri-implantite.
Karimi et al. [96]	2016	Iran	Journal of Lasers in Medical Sciences	0	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : effets du traitement adjuvant par PDT	ECR (split-mouth)	Diode	10	10 (split-mouth)	3 mois	Profondeur de poche ; Perte d'attache ; Saignement au sondage ; Indice gingival	Diminution significative de la profondeur de poche et de la perte d'attache dans le groupe laser	La PDT associée à un débridement mécanique permet l'amélioration des paramètres cliniques dans le traitement des maladies péri-implantaires.

Lerario et al. [102]	2016	Italie	Lasers in Medical Science	2.076	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : décontamination au laser	EC	Diode	21	6	12 mois	Indice de plaque ; Saignement au sondage ; Profondeur de poche	Diminution significative de la profondeur de poche dans le groupe laser ; Diminution non significative des autres variables	Le laser à diode semble être un outil précieux dans le traitement de la mucosite et de la péri-implantite, en combinaison avec une instrumentation parodontale conventionnelle non chirurgicale.
Nicholson et al. [106]	2014	Etats-Unis	Lasers in Dentistry	0	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : décontamination au laser	Série de cas	Nd:YAG	16	0	8 à 36 mois	Saignement au sondage ; Perte osseuse marginale	Amélioration clinique	Protocole LAPIP permet d'enclencher le processus de cicatrisation.
Norton [112]	2017	Royaume-Uni	The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry	1.228	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : décontamination au laser	Cohorte prospective	Er:YAG	20	0	12 mois	Saignement et suppuration spontanée ; Saignement au sondage ; Profondeur de poche	Diminution de toutes les variables analysées à 1 an	Le laser Er:YAG est un bon outil pour réaliser la décontamination des surfaces implantaires. C'est un bon complément à la chirurgie régénérative.
Papadopoulos et al. [104]	2015	Grèce	Clinical Oral Investigations	2.453	Traitement chirurgical des péri-implantites : effets de la décontamination implantaire au laser	ECR	Diode	8	8	6 mois	Profondeur de poche ; Niveau d'attache ; Saignement au sondage ; Indice de plaque	Pas de différence significative entre les groupes	Le traitement chirurgical de la péri-implantite par lambeau d'accès permet d'améliorer tous les paramètres cliniques étudiés alors que l'utilisation du laser à diode en complément ne semble pas avoir un effet bénéficiaire supplémentaire.
Persson et al. [107]	2011	Suède	Journal of Periodontology	2.768	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : comparer les effets de traitements adjuvants par laser ou polissage abrasif sous-gingival	ECR	Er:YAG	21 (laser) et 21 (polissage)	21 (laser) et 21 (polissage)	6 mois	Profondeur de poche ; Comptage bactérien	Diminution de la profondeur de poche ; Pas de diminution des bactéries à 6 mois dans les 2 groupes	Améliorations cliniques limitées pour les deux protocoles dans le traitement des péri-implantites.
Pommer et al. [111]	2016	Autriche	Implant Dentistry	1.214	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : comparaison implantoplastie vs décontamination au laser	Série de cas	Er:YAG	Groupe 1 : 72 (laser) ; Groupe 2 : 47 (implantoplastie) ; Groupe 3 : 23 (combiné)	Groupe 1 : 72 (laser) ; Groupe 2 : 47 (implantoplastie) ; Groupe 3 : 23 (combiné)	9 ans	Perte de l'implant	Pas de différence significative entre les groupes	Le succès du traitement ne diffère pas entre une décontamination laser et / ou une chirurgie d'implantoplastie.

Romeo et al. [97]	2016	Italie	International Journal Of Dentistry	0	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : effets du traitement adjuvant par PDT	ECR	Diode	40 (63 implants)	40 (59 implants)	6 mois	Indice de plaque ; Profondeur de poche ; Profondeur de poche	Amélioration des variables analysées dans les deux groupes ; Amélioration significative de l'indice de plaque et de la profondeur de poche dans le groupe test.	La PDT représente un traitement fiable mais doit être considérée comme un coadjuvant dans le traitement de la péri-implantite, associée aux traitements mécaniques et chirurgicaux.
Salaria et al. [101]	2018	Inde	Contemporary Clinical Dentistry	0	Traitement non-chirurgical des péri-implantites : effets du traitement adjuvant par PDT	Case report	Diode	1	0	12 mois	Profondeur de poche ; Saignement au sondage ; Cicatrisation	Excellente cicatrisation	Bon contrôle de la maladie et de ses complications associées, amélioration de l'environnement péri-implantaire favorisant la régénération.
Schwarz et al. [108]	2011	Allemagne	Journal of Clinical Periodontology	4.164	Traitement chirurgical des péri-implantites : effets de la décontamination implantaire au laser	ECR	Er:YAG	15	15	6 mois	Perte d'attache ; Saignement au sondage ; Perte osseuse	Pas de différence significative entre les groupes	Le groupe laser n'a pas révélé de réduction plus élevée du saignement lors du sondage par rapport aux autres groupes.
Schwarz et al. [110]	2016	Allemagne	Journal of Clinical Periodontology	4.164	Traitement chirurgical des péri-implantites : effets de la décontamination implantaire au laser	ECR	Er:YAG	15	15	7 ans	Perte d'attache ; Saignement au sondage ; Perte osseuse	Pas de différence significative entre les groupes	Le traitement de la péri-implantite a été efficace au long terme, mais pas influencé par le type de décontamination initiale (laser ou débridement mécanique)
Schwarz et al. [109]	2015	Allemagne	Journal of Clinical Periodontology	4.164	Traitement non-chirurgical des péri-implantites (implants en zircone) : effets de la décontamination au laser	Série de cas	Er:YAG	17	17	6 mois	Profondeur de poche ; Saignement au sondage ; Perte osseuse	Amélioration significative dans les deux groupes	Importantes améliorations cliniques à court terme dans les deux groupes, mais la guérison n'a pas été totale chez la plupart des patients.
Valente et al. [103]	2018	Etats-Unis	Compendium of continuing education in dentistry	0	Traitement chirurgical des péri-implantites : effets de la décontamination implantaire au laser	Case report	Diode	1	0	8 mois	Saignement au sondage ; Profondeur de poche ; Niveau osseux	Amélioration des variables analysées	Le protocole combiné chirurgie + décontamination décrit ici (débridement sous lambeau, doxycycline, peroxyde d'hydrogène, laser et régénération guidée), peut être une option de traitement viable et recommandable en cas d'implants présentant une résorption osseuse sévère à la suite de maladie péri-implantaire.

Tableau 19 : Résumé des paramètres laser dans les articles inclus pour répondre à la question 6. (NR : non renseigné)

Auteur	Année	Laser utilisé	Anesthésie locale	Gel photosensibilisant	Longueur d'onde (nm)	Energie (J)	Fréquence (Hz)	Puissance (mW)	Fluence (J/cm ²)	Fibre	Peroxyde d'hydrogène H ₂ O ₂	Irrigation	Mode d'émission	Distance entre le laser et le site opératoire	Modalités d'application	Durée d'exposition par application
Abduljabbar et al. [105]	2017	Nd:YAG	NR	NR	1064	80mJ / pulse	50	4000	NR	300 µm	Non	H ₂ O + air	Pulsé (350ms)	NR	Unique	60 à 120 sec
Al Amri et al. [98]	2016	Diode	NR	Bleu de Méthylène (HELBO)	660	NR	NR	100	NR	NR	Oui concentrati on 3%	NR	NR	NR	Unique	10sec
Arisan et al. [95]	2015	Diode	Oui (ultracaine)	NR	810	1,5	NR	1000	3	400 µm	Non	Solution saline	Pulsé	Non contact (1mm)	Unique	1min
Bassetti et al. [92]	2013	Diode	Oui (articaïne)	Phenothia zine chlorure (3 min)	660	NR	NR	100	NR	NR	Oui concentrati on 3%	NR	NR	NR	2 séances à 1 semaine d'intervalle	10 sec
Birang et al. [93]	2017	Diode	NR	90sec	810	NR	NR	300	NR	300 µm	Non	NR	NR	NR	2 séances à 2 semaines d'intervalle	3 x 30sec
Bombeckari et al. [100]	2013	Diode	NR	Bleu de Toluidine (TBO)	810	NR	NR	1000	NR	300 µm	Non	Solution saline	Continue	NR	Unique	20sec x5
Caccianiga et al. [94]	2016	Diode	Oui	NR	NR	NR	10000	2500 (moyenne 500)	NR	400 µm	Oui / complexe glycérophosphorique	NR	Pulsé (20µs toutes les 80µs)	NR	Unique	60 sec
Javed et al. [99]	2016	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	Non	NR	NR	NR	NR	NR
John et al. [113]	2017	Er:YAG	Oui	NR	2940	100mJ / pulse	10	NR	12,7	0.4 x 1.65 mm	Non	NR	NR	NR	Unique	NR
Karimi et al. [96]	2016	Diode	NR	Bleu de Toluidine (TBO)	630	NR	NR	NR	NR	NR	Non	NR	NR	Contact	Unique	120sec
Lerario et al. [102]	2016	Diode	NR	NR	810	NR	50	1000	24,87	320 µm	Non	NR	Pulsé (100ms toutes les 100ms)	Contact	Unique	30sec
Nicholson et al. [106]	2014	Nd:YAG	NR	NR	1064	NR	NR	6000	NR	NR	Non	NR	Pulsé	NR	Unique	NR
Norton [112]	2017	Er:YAG	Oui (articaïne 1/100 000)	NR	2940	0,05	NR	NR	NR	NR	Non	NR	NR	NR	Unique	NR

Papadopoulos et al. [104]	2015	Diode	Oui (Lignospan 2%)	NR	980	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Persson et al. [107]	2011	Er:YAG	Gel : 18 patients ; Infiltration : 3 patients	NR	2940	100mJ / pulse	10	NR	NR	NR	12.7	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Pommeret al. [111]	2016	Er:YAG	NR	NR	2940	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Romeo et al. [97]	2016	Diode	NR	Bleu de Methylene (HELBO)	670	E totale: 1592 J/cm ²	NR	NR	NR	NR	25,54	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1min
Salonia et al. [101]	2018	Diode	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2000	NR	300 µm	NR	NR	Pulsé (50µs)	Contact	Contact	Unique	15sec
Schwarz et al. [108]	2011	Er:YAG	Oui	NR	2940	100mJ / pulse	10	NR	NR	NR	11,4	NR	NR	NR	Pulsé	Contact	Contact	Unique	NR
Schwarz et al. [110]	2016	Er:YAG	Oui	NR	2941	100mJ / pulse	11	NR	NR	NR	12,4	NR	NR	NR	Pulsé	Contact	Contact	Unique	NR
Schwarz et al. [109]	2015	Er:YAG	Oui	NR	2940	100mJ / pulse	10	NR	NR	NR	12,7	0,4 x 1,65 mm	NR	NR	NR	Contact	Contact	Unique	NR
Valente et al. [103]	2018	Diode	Oui (mepivacaine 1/50 000)	NR	810	NR	NR	NR	NR	1000	NR	NR	NR	NR	Continue	Non contact (3mm)	Unique	Unique	60sec

Tableau 20 : Évaluation de la qualité méthodologique des articles inclus pour répondre à la question 6

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Risque de biais global
Abduljabbar et al. (2017)	-	-	X	-	+	+	-	-
Arisan et al. (2015)	-	-	X	-	+	+	-	-
Bassetti et al. (2013)	-	-	X	-	+	+	-	-
Birang et al. (2017)	+	-	-	-	+	+	-	-
Bombeccari et al. (2013)	X	-	X	-	+	+	-	X
Javed et al. (2016)	-	-	X	-	+	+	-	-
Karimi et al. (2016)	-	-	X	-	+	+	-	-
Papadopoulos et al. (2015)	+	-	-	-	+	+	-	+
Persson et al. (2011)	+	-	X	-	+	+	-	-
Romeo et al. (2016)	+	-	-	-	+	+	-	+
Schwarz et al. (2011)	+	-	-	-	+	+	-	+

D1 : Randomisation
 D2 : Affectation dans un groupe dissimulée
 D3 : Double aveugle
 D4 : Evaluation des résultats en aveugle
 D5 : Résultats complets
 D6 : Communication sélective des résultats
 D7 : Autres sources de biais

Jugement

X Elevé
 - Incertain
 + Faible

6 CONCLUSION

Des enseignements sont à retenir parmi la quantité d'éléments que nous avons pu répertorier dans ce travail de thèse,

Notons tout d'abord que la technologie laser présente un intérêt clinique avéré dans des applications spécifiques en médecine.

En implantologie, les indications que nous avons retenues au vu de notre revue de littérature sont : nous comptons lors de la phase pré-implantaire, la réalisation d'ostéotomies et de périostéotomies, la création de fenêtre d'accès lors des sinus lift, ou encore les explantations d'implants condamnés. La preuve scientifique de l'intérêt d'utiliser le laser plutôt que d'autres techniques validées en chirurgie pré-implantaire est faible voire nulle, puisque limitée à des cas cliniques sporadiques. Cependant, il a été montré que le laser peut trouver son avantage dans l'indication des périostéotomies.

Cette technologie trouve également sa place lors de la première phase implantaire pour effectuer la décontamination des alvéoles post-extractionnelles en vue d'une implantation immédiate et la préparation du lit implantaire sous certaines conditions.

La quasi-totalité des études analysées, présentaient des séries de cas cliniques dont le niveau de preuve était faible. Ce faible niveau de preuve nous laisse donc penser qu'il n'y a pas de bénéfice prouvé à utiliser le laser plutôt que des techniques conventionnelles lors de la première phase implantaire.

Lors de la deuxième phase implantaire, les auteurs sont unanimes pour affirmer que le laser constitue une alternative efficace à l'instrumentation conventionnelle, apportant un gain en termes de confort du patient et du praticien ainsi qu'un temps opératoire réduit. Cependant, la présence de nombreux biais méthodologiques dans l'ensemble des essais cliniques inclus laisse penser que les résultats de ces études restent à confirmer.

Par ailleurs, l'efficacité du laser reste controversée dans les domaines d'application faisant appel à la biostimulation. La LLLT semble avoir une influence positive sur la néoformation osseuse et la stabilité implantaire, cependant il n'existe actuellement aucun consensus quant aux protocoles à appliquer. Ceci explique en partie les divergences de résultats des auteurs. De plus, ces effets se situent sous la limite du visible, et sont donc difficilement comparables.

L'état actuel de la littérature et les études disponibles à ce jour ne permettent pas d'affirmer l'efficacité des lasers au long terme dans le traitement des maladies péri-implantaires. Sa supériorité par rapport aux instrumentations conventionnelles n'est pas prouvée. Cependant, utilisé en association avec les thérapeutiques conventionnelles le laser se révèle être un outil prometteur.

Aujourd'hui, l'investissement dans un laser n'est donc pas garant de résultats en implantologie pour le patient. Il reste cependant à noter qu'il existe d'autres domaines comme l'endodontie, l'odontologie conservatrice ou la parodontie, dans lesquels cette technologie semble faire ses preuves et apporter d'autres résultats positifs par rapport à l'instrumentation conventionnelle.

Enfin, il ne faut pas oublier que le laser est un outil avec une grande spécificité et de nombreux paramètres, pouvant faire varier ses effets sur les tissus cibles. Il est donc essentiel de bien maîtriser et de bien connaître son laser pour ne pas faire de dégâts sur les tissus périphériques.

7 TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Historique du laser.....	3
Figure 2: Les grandeurs caractéristiques d'une onde.	4
Figure 3 : Le spectre visible dans le spectre électromagnétique [19].....	6
Figure 4 : Schéma illustrant la différence entre le faisceau LASER et LED.....	6
Figure 5 : Phénomène d'émission spontanée	7
Figure 6 : Phénomène d'émission stimulée	7
Figure 7 : L'oscillateur laser [21].....	8
Figure 8 : Naissance du faisceau laser.....	9
Figure 9 : Composition d'un bras articulé.....	9
Figure 10 : Composition d'une fibre optique.....	10
Figure 11 : Les modes d'émission des lasers : mode continu, mode impulsionnel et mode déclenché [23].....	10
Figure 12 : Représentation des 4 types d'interaction laser – tissus [25].....	11
Figure 13 : Courbes d'absorption des différents lasers dans l'hémoglobine, la mélanine, l'hydroxyapatite et l'eau [23]	12
Figure 14 : Principe d'action de la photo-ablation [29]	13
Figure 15 : L'effet photo-acoustique	14
Figure 16 : Actions de la chaleur sur les constituants tissulaires en fonction de la température et du temps. [27].....	14
Figure 17 : Schéma de création des radicaux libres via excitation d'un agent photosensibilisant	15
Figure 18 : Principe de la biostimulation	16
Figure 19 : Effets tissulaires des lasers en fonction de leur pouvoir de pénétration [37]	17
Figure 20 : (à gauche) Laser diode smart M pro ® multi longueurs d'onde de Lasotronix [39] ; (à droite) Laser diode Wiser Icone II ® de Kaelux [40].....	18
Figure 21 : (à gauche) Laser Absorber CO2 ® de Kaelux [43] ; (à droite) Laser CO ₂ Solea ® de Convergent Dental [44].....	19
Figure 22 : (à gauche) Laser Nd-YAG PerioLase MVP-7 ® de Millennium Dental Technologies [45] ; (à droite) Laser Nd-YAG Genius 9 SDL ® de Genius Periodental [46].....	20
Figure 23 : Laser Nd-YAP Lokki ® de Lobel Médical [48]	21
Figure 24 : (à gauche) Laser ErYAG Pluser II ® de Kaelux [49] ; (à droite) Laser LightWalker ST-E ® de Fotona [50]	22
Figure 25 : Laser Er,Cr-YSGG WaterLase® iPlus - Biolase Tech [51].....	23
Figure 26 : Effets tissulaires des lasers Er:YAG, Er,Cr :YSGG, CO ₂ , Diode et Nd:YAG [37].	25
Figure 27 : Lunettes de protection correspondant aux différentes longueurs d'ondes. [53]...	26
Figure 28 : Diagramme de sélection des articles (PRISMA Flow Diagram).....	29

8 LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Analyse des risques par rapport aux tissus et à la classe des lasers. [53]	25
Tableau 2 : Stratégie de recherche avec les mots clés et termes MeSH appropriés.....	28
Tableau 3 : Résumé des caractéristiques descriptives générales des articles inclus pour répondre à la question 1. (NR : non renseigné ; ECR : essai contrôlé randomisé ; IF : impact factor)	31
Tableau 4 : Résumé des paramètres laser dans les articles inclus pour répondre à la question 1. (NR : non renseigné)	33
Tableau 5 : Évaluation de la qualité méthodologique des articles inclus pour répondre à la question 1.....	33
Tableau 6 : Résumé des caractéristiques descriptives générales des articles inclus pour répondre à la question 2. (NR : non renseigné ; ECR : essai contrôlé randomisé ; IF : impact factor)	35
Tableau 7 : Résumé des paramètres laser dans les articles inclus pour répondre à la question 2. (NR : non renseigné)	36
Tableau 8 : Évaluation de la qualité méthodologique des articles inclus pour répondre à la question 2.....	37
Tableau 9 : Résumé des caractéristiques descriptives générales des articles inclus pour répondre à la question 3. (NR : non renseigné ; ECR : essai contrôlé randomisé ; IF : impact factor)	39
Tableau 10 : Résumé des paramètres laser dans les articles inclus pour répondre à la question 3. (NR : non renseigné).....	40
Tableau 11 : Évaluation de la qualité méthodologique des articles inclus pour répondre à la question 3.....	40
Tableau 12 : Résumé des caractéristiques descriptives générales des articles inclus pour répondre à la question 4. (NR : non renseigné ; ECR : essai contrôlé randomisé ; IF : impact factor)	42
Tableau 13 : Résumé des paramètres laser dans les articles inclus pour répondre à la question 4. (NR : non renseigné).....	44
Tableau 14 : Évaluation de la qualité méthodologique des articles inclus pour répondre à la question 4.....	45
Tableau 15 : Résumé des caractéristiques descriptives générales des articles inclus pour répondre à la question 5. (ECR : essai contrôlé randomisé ; EC : étude comparative ; IF : impact factor)	47
Tableau 16 : Résumé des paramètres laser dans les articles inclus pour répondre à la question 5. (NR : non renseigné).....	50
Tableau 17 : Évaluation de la qualité méthodologique des articles inclus pour répondre à la question 5.....	51
Tableau 18 : Résumé des caractéristiques descriptives générales des articles inclus pour répondre à la question 6. (ECR : essai contrôlé randomisé ; EC : étude comparative ; IF : impact factor)	54
Tableau 19 : Résumé des paramètres laser dans les articles inclus pour répondre à la question 6. (NR : non renseigné).....	58
Tableau 20 : Évaluation de la qualité méthodologique des articles inclus pour répondre à la question 6.....	60

9 BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. C. Maxwell, « A dynamical theory of the electromagnetic field », *Philos. Trans. R. Soc. Lond.*, vol. 155, p. 459-512, janv. 1865, doi: 10.1098/rstl.1865.0008.
- [2] J. J. Thomson, « Cathode Rays », *Lond. Edinb. Dublin Philos. Mag. J. Sci.*, vol. 44, no 269, p. 293-316, oct. 1897, doi: 10.1080/14786449708621070.
- [3] M. Planck, « On the Theory of the Energy Distribution Law of the Normal Spectrum », in *The Old Quantum Theory*, Elsevier, 1967, p. 82-90.
- [4] A. Einstein, « Zur Quantentheorie der Strahlung », *Phys.Z.*, vol. 18, p. 121-128, 1917.
- [5] G. N. Lewis, « The Nature of Light », *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 12, no 1, p. 22-29, janv. 1926, doi: 10.1073/pnas.12.1.22.
- [6] C. Fabre, « Une brève histoire de la physique des lasers », *Images Phys.* 2010, p. 3, 2011.
- [7] G. Rey, P. Missika, P. Bufflier, M. Costesseque, et J.-P. Rocca, *Les lasers et la chirurgie dentaire : innovations et stratégies cliniques*. Rueil-Malmaison, France : Éditions CdP, 2010.
- [8] A. Kastler et C. Cohen-Tannoudji, « Optical Pumping », in *Progress in Optics*, vol. 5, Elsevier, 1966, p. 1-81.
- [9] A. L. Schawlow et C. H. Townes, « Infrared and Optical Masers », *Phys. Rev.*, vol. 112, no 6, p. 1940-1949, déc. 1958, doi: 10.1103/PhysRev.112.1940.
- [10] T. H. Maiman, « Stimulated Optical Radiation in Ruby », *Nature*, vol. 187, no 4736, p. 493-494, août 1960, doi: 10.1038/187493a0.
- [11] A. Javan, W. R. Bennett, et D. R. Herriott, « Population Inversion and Continuous Optical Maser Oscillation in a Gas Discharge Containing a He-Ne Mixture », *Phys. Rev. Lett.*, vol. 6, no 3, p. 106-110, févr. 1961, doi: 10.1103/PhysRevLett.6.106.
- [12] N. Holonyak et S. F. Bevacqua, « Coherent (visible) light emission from Ga(As_{1-x}P_x) junctions », *Appl. Phys. Lett.*, vol. 1, no 4, p. 82-83, déc. 1962, doi: 10.1063/1.1753706.
- [13] C. K. N. Patel, « Continuous-Wave Laser Action on Vibrational-Rotational Transitions of CO₂ », *Phys. Rev.*, vol. 136, no 5A, p. A1187-A1193, nov. 1964, doi: 10.1103/PhysRev.136.A1187.
- [14] P. P. Sorokin et J. R. Lankard, « Stimulated Emission Observed from an Organic Dye, Chloroaluminum Phthalocyanine », *IBM J. Res. Dev.*, vol. 10, no 2, p. 162-163, mars 1966, doi: 10.1147/rd.102.0162.
- [15] J. E. Geusic et L. G. G. V. Uitert, « Nd³⁺-yag laser amplifier and oscillator », US3252103A, 17-mai-1966.

- [16] J.-M. Stroumza, « Apport des lasers en odontologie », Actual. Odonto-Stomatol., no 272, p. 2-14, sept. 2015, doi: 10.1051/aos/2015202.
- [17] J.-P. Rocca, C. Augros, C. Bertrand-Flamand, et M.-F. Bertrand, Les lasers en odontologie. Paris, France: Éd. CdP, impr. 2008, 2008.
- [18] R. A. Convissar, Principles and Practice of Laser Dentistry. Elsevier Health Sciences, 2015.
- [19] « La lumière : ondes électromagnétiques, spectre électromagnétique et photons », Khan Academy. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.khanacademy.org/science/physics/light-waves/introduction-to-light-waves/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>.
- [20] F. Gaultier et G. Navarro, « Les lasers en odontologie », Le fil dentaire, 10-déc-2013. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/pratique/au-fil-des-conferences/les-lasers-en-odontologie/>.
- [21] CEA, « Le laser : un concentré de lumière », CEA/Découvrir & Comprendre, 30-juin-2015. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.cea.fr/comprendre/Pages/physique-chimie/laser-concentre-de-lumiere.aspx>.
- [22] J. M. Brunetaud, B. Decomps, et J. C. Griesemann, « Les applications thérapeutiques des lasers », p. 11.
- [23] H. Cartier, S. Dahan, et B. Pusel, Lasers en Dermatologie : (4e édition). Doin - John Libbey Eurotext, 2018.
- [24] F. Baudot, « La microchirurgie parodontale d'assainissement une nouvelle approche avec le laser Erbium-Yag », Fil Dent., no 90, p. 14-19, février 2014.
- [25] S. Parker, « Laser-tissue interaction », Br. Dent. J., vol. 202, no 2, p. 73-81, janv. 2007, doi: 10.1038/bdj.2007.24.
- [26] A. Moster, « L'apport du laser Nd: YAP dans le traitement des tissus péri-dentaires et péri-implantaires », Sciences du vivant, Nancy, 2011.
- [27] J. M. Brunetaud, S. Mordon, T. Desmettre, et C. Beacco, « Les applications thérapeutiques des lasers », in Les lasers et leurs applications scientifiques et médicales, Cargèse, France, 1996, vol. 4, p. 523-546, doi: 10.1051/sfo/1996017.
- [28] « Les deux effets du laser er-yag microablatif & photoacoustique », lefildentaire magazine dentaire, 25-févr-2016. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/omnipratique/les-deux-effets-du-laser-er-yag-microablatif-et-photoacoustique/>.
- [29] K. Thompson, Q. Ren, et J.-M. Parel, « Therapeutic and Diagnostic Application of Lasers in Ophthalmology », Proc. IEEE, vol. 80, p. 838-860, juill. 1992, doi: 10.1109/5.149448.

- [30] D. F. Baudot, « Le laser Er:YAG et ses effets photoacoustiques : le contrôle de l'infection maximal », p. 4, 2016.
- [31] F. F. Sperandio, Y.-Y. Huang, et M. R. Hamblin, « Antimicrobial Photodynamic Therapy to Kill Gram-negative Bacteria », *Recent Patents Anti-Infect. Drug Disc.*, vol. 8, no 2, p. 108-120, août 2013.
- [32] « Thérapie photo-dynamique », Laser dentaire IMDgroup. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.laserdentaire.net/therapie-photo-dynamique/>.
- [33] J. D. Carroll, M. R. Milward, P. R. Cooper, M. Hadis, et W. M. Palin, « Developments in low level light therapy (LLLT) for dentistry », *Dent. Mater.*, vol. 30, no 5, p. 465-475, mai 2014, doi: 10.1016/j.dental.2014.02.006.
- [34] L. J. Walsh, « Low Level Laser Therapy », p. 16.
- [35] A. Galkin, A. Higgs, et S. Moncada, « Nitric oxide and hypoxia », *Essays Biochem.*, vol. 43, p. 29-42, août 2007, doi: 10.1042/bse0430029.
- [36] N. Servetto et al., « Evaluation of inflammatory biomarkers associated with oxidative stress and histological assessment of low-level laser therapy in experimental myopathy », *Lasers Surg. Med.*, vol. 42, no 6, p. 577-583, 2010, doi: 10.1002/lsm.20910.
- [37] A. Aoki et al., « Periodontal and peri-implant wound healing following laser therapy », *Periodontol. 2000*, vol. 68, no 1, p. 217-269, juin 2015, doi: 10.1111/prd.12080.
- [38] J.-P. Rocca, C. Augros, C. Bertrand-Flamand, et M.-F. Bertrand, *Les lasers en odontologie*. Paris, France: Éd. CdP, impr. 2008, 2008.
- [39] « Laser diode LASOTRONIX Smart M pro - IMDgroup Distributeur France », Laser dentaire IMDgroup. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.laserdentaire.net/boutique/laser-dentaire-diode/laser-diode-lasotronix/>.
- [40] « Laser Diode Wiser ICONÉ II - Kaelux Achat et location d'instruments dentaires pour professionnels exigeants ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.kaelux.com/fr/lasers-diode/157-laser-diode-wiser-icone.html>.
- [41] D. V. Dilouya, « Lasers, mode d'emploi », *AO News*, no 18, p. 8-9, juin 2018.
- [42] D. V. Dilouya, « Intérêt et indications différentielles du laser CO 2 en odontostomatologie », *Actual. Odonto-Stomatol.*, no 272, p. 23-32, sept. 2015, doi: 10.1051/aos/2015204.
- [43] « Laser Absorber CO2 - Kaelux Achat et location d'instruments dentaires pour professionnels exigeants ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.kaelux.com/fr/laser-co2/158-laser-absorber-co2.html>.
- [44] « Solea All Tissue Dental Laser | Convergent Dental | Pain-free dental laser », Convergent Dental. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.convergentdental.com/solea/>.

- [45] « Laser Dentistry | PerioLase® MVP-7TM | Dental Laser | MDT Inc. », Millennium Dental Technologies, Inc. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.lanap.com/laser-dentistry/periolase-mvp-7/>.
- [46] « Genius 9 SDL », geniusdental.com. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.geniusdental.com/genius-9-sdl/>.
- [47] R. Mansouri, « Les lasers Erbium et Nd-YAP en omnipratique quotidienne », AO News, no 18, p. 10-12, juin 2018.
- [48] C.-D. : J.-P. C. pour O. N.V, « Lokki® | Dentisterie Laser-Assistée ». [En ligne]. Disponible sur: <http://lobel-medical.fr/FeaturesDetail.asp?pageid=140>.
- [49] « Laser Erbium Yag Pluser II® - Kaelux Achat et location d'instruments dentaires pour professionnels exigeants ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.kaelux.com/fr/laser-erbium-yag/28-pluser.html>.
- [50] « Ligne LightWalker | Fotona ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.fotona.com/fr/products/5218/ligne-lightwalker/>.
- [51] « Waterlase iPlus - All Tissue Dental Laser », BIOLASE. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.biolase.com/products/dental-lasers-all-tissue/waterlase-iplus/>.
- [52] S. Parker, « Laser regulation and safety in general dental practice », Br. Dent. J., vol. 202, no 9, p. 523-532, mai 2007, doi: 10.1038/bdj.2007.370.
- [53] World Federation for Laser Dentistry, A. Brugnera Júnior, et S. Namour, Laser dentistry: current clinical applications. 2018.
- [54] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, D. G. Altman, et T. P. Group, « Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement », PLOS Med., vol. 6, no 7, p. e1000097, juill. 2009, doi: 10.1371/journal.pmed.1000097.
- [55] J. P. Higgins et S. Green, « Assessing risk of bias in included studies », in Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions : Cochrane Book Series, p. 187-241.
- [56] S. Stübinger, C. Landes, O. Seitz, et R. Sader, « Er: YAG laser osteotomy for intraoral bone grafting procedures: A case series with a fiber-optic delivery system », J. Periodontol., vol. 78, no 12, p. 2389-2394, 2007.
- [57] S. Stuebinger, K. Nuss, C. Landes, B. von Rechenberg, et R. Sader, « Harvesting of intraoral autogenous block grafts from the chin and ramus region: preliminary results with a variable square pulse Er: YAG laser », Lasers Surg. Med. Off. J. Am. Soc. Laser Med. Surg., vol. 40, no 5, p. 312-318, 2008.
- [58] S. Stübinger, S. Ghanaati, B. Saldamli, C. Kirkpatrick, et R. Sader, « Er: YAG laser osteotomy: preliminary clinical and histological results of a new technique for contact-free bone surgery », Eur. Surg. Res., vol. 42, no 3, p. 150-156, 2009.

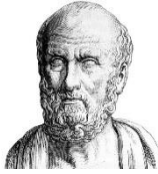
- [59] T. Tosun et S. Benedicenti, « Usage of Er: YAG lasers in maxillary sinus surgeries: a clinical comparison of VSP vs Gaussian profiles », *J. Laser Health Acad.*, p. 29-32, 2014.
- [60] J.-M. Kim, D.-S. Sohn, J.-U. Heo, J.-W. Moon, J.-H. Lee, et I.-S. Park, « Benefit of the Replaceable Bony Window in Lateral Maxillary Sinus Augmentation: Clinical and Histologic Study », *Implant Dent.*, vol. 23, no 3, p. 277-282, juin 2014, doi: 10.1097/ID.000000000000070.
- [61] N. Moslemi, A. Khorsand, S. Torabi, A. Shahnaz, Y. S. Shayesteh, et R. Fekrazad, « Periosteal releasing incision with diode laser in guided bone regeneration procedure: a case series », *J. Lasers Med. Sci.*, vol. 7, no 4, p. 259, 2016.
- [62] A. Shahnaz, R. Jamali, F. Mohammadi, A. Khorsand, N. Moslemi, et R. Fekrazad, « A preliminary randomized clinical trial comparing diode laser and scalpel periosteal incision during implant surgery: impact on postoperative morbidity and implant survival », *Lasers Med. Sci.*, vol. 33, no 1, p. 19-25, 2018.
- [63] L. Smith et T. Rose, « Laser explantation of a failing endosseous dental implant: Laser explantation of a dental implant », *Aust. Dent. J.*, vol. 55, no 2, p. 219-222, juin 2010, doi: 10.1111/j.1834-7819.2010.01225.x.
- [64] E. R. Kusek, « Immediate Implant Placement Into Infected Sites: Bacterial Studies of the Hydroacoustic Effects of the YSGG Laser », *J. Oral Implantol.*, vol. 37, no sp1, p. 205-211, mars 2011, doi: 10.1563/AAID-JOI-D-10-00014.
- [65] R. Birang, M. Shahabooei, B. Poormoradi, A. Khademi, et F. Bajoghli, « Immediate placement of implants in tooth extraction sockets in the presence of periapical lesions with or without Er: YAG laser irradiation », *J. Adv. Periodontol. Implant Dent.*, vol. 4, no 1, p. 12-18, 2012.
- [66] R. Crippa, R. Aiuto, M. Guardincerri, M. Peñarrocha Diago, et F. Angiero, « Effect of Laser Radiation on Infected Sites for the Immediate Placement of Dental Implants », *Photobiomodulation Photomed. Laser Surg.*, 2019.
- [67] I. Ingenegeren, « Full-laser implant bed preparation: Case studies using different implant systems », *J. Interdiscip. Dent.*, vol. 1, no 1, p. 58, 2011, doi: 10.4103/2229-5194.77212.
- [68] K. Swider et D. Marzena, « Er:YAG and diode laser application in implant bed preparation and implant uncovering: A case report », *Dent. Med. Probl.*, vol. 56, no 1, p. 111-116, févr. 2019, doi: 10.17219/dmp/100386.
- [69] F. F. Mikhail, M. El-Din, T. Ibrahim, K. Zekry, A. H. Nemat, et S. Nasry, « Effect of Laser Therapy on the Osseointegration of Immediately Loaded Dental Implants in Patients under Vitamin C, Omega-3 and Calcium Therapy », *Open Access Maced. J. Med. Sci.*, vol. 6, no 8, p. 1468-1474, août 2018, doi: 10.3889/oamjms.2018.291.

- [70] M. A. ELsyad, A. E. Abdraboh, M. M. Aboelnagga, R. M. Ghali, et I. T. Lebshtien, « Effect of Low-Level Laser Irradiation on Stability and Marginal Bone of Narrow Implants Retaining Overdentures in Moderately Controlled Diabetic Patients », *J. Oral Implantol.*, vol. 45, no 5, p. 391-397, oct. 2019, doi: 10.1563/aaid-joi-D-18-00263.
- [71] B. Mandic et al., « Influence of postoperative low-level laser therapy on the osseointegration of self-tapping implants in the posterior maxilla: A 6-week split-mouth clinical study », *Vojnosanit. Pregl.*, vol. 72, no 3, p. 233-240, 2015.
- [72] I. Karaca, G. Ergun, et D. Ozturk, « Is low-level laser therapy and gaseous ozone application effective on osseointegration of immediately loaded implants? », *Niger. J. Clin. Pract.*, vol. 21, no 6, p. 703-710, 2018.
- [73] J. Memarian, M. Ketabi, et S. Amini, « The effect of low-level laser 810 nm and light-emitting diode photobiomodulation (626 nm) on the stability of the implant and inflammatory markers interleukin-1 beta and prostaglandin E2, around implants », *Dent. Res. J.*, vol. 15, no 4, p. 283-288, juill. 2018.
- [74] H. Mohajerani, A. M. Salehi, F. Tabeie, S. Shafiei, et R. Tabrizi, « Can Low-Level Laser and Light-Emitting Diode Enhance the Stability of Dental Implants? », *J. Maxillofac. Oral Surg.*, p. 1-5.
- [75] A. L. B. Pinheiro et M. E. M. M. Gerbi, « Photoengineering of bone repair processes », *Photomed. Laser Surg.*, vol. 24, no 2, p. 169-178, avr. 2006, doi: 10.1089/pho.2006.24.169.
- [76] J. M. García-Morales, P. Tortamano-Neto, F. F. Todescan, J. C. S. de Andrade, J. Marotti, et D. M. Zzell, « Stability of dental implants after irradiation with an 830-nm low-level laser: a double-blind randomized clinical study », *Lasers Med. Sci.*, vol. 27, no 4, p. 703-711, juill. 2012, doi: 10.1007/s10103-011-0948-4.
- [77] P. Torkzaban, S. Kasraei, S. Torabi, et M. Farhadian, « Low-level laser therapy with 940 nm diode laser on stability of dental implants: a randomized controlled clinical trial », *Lasers Med. Sci.*, vol. 33, no 2, p. 287-293, 2018.
- [78] O. S. Gileva, M. A. Chuprakov, T. V. Libik, E. S. Syutkina, et F. Z. Mirsaeva, « Dynamics of dental implant stability indicators (isq) using low-level laser therapy in treatment and prevention modes », *. Vol.*, vol. 22, no 4, p. 13.
- [79] C. Gokmenoglu, N. Ozmeric, I. Erguder, et S. Elgun, « The effect of light-emitting diode photobiomodulation on implant stability and biochemical markers in peri-implant crevicular fluid », *Photomed. Laser Surg.*, vol. 32, no 3, p. 138-145, 2014.
- [80] R. Al-Delayme et L. Awazli, « Evaluation of the effectiveness of 940nm Diode Laser in second-stage Dental Implant Surgery compared with the Conventional Scalpel Procedure: An in vivo Study », *Int J Oral Craniofac Sci*, vol. 3, no 2, p. 039-045, 2017.
- [81] R. Al-Delayme, « Preservation of keratinized gingiva around dental implants using a diode laser when uncovering implants for second stage surgery », *Eur. Oral Res.*, vol. 53, no 3, p. 106-112, 2019.

- [82] S. K. Tunc, N. Z. Yayli, A. C. Talmac, E. Feslihan, et D. Akbal, « Clinical comparison of the use of Er, Cr: YSGG and diode lasers in second stage implant surgery », *Saudi Med. J.*, vol. 40, no 5, p. 490, 2019.
- [83] M. Kaur, Y. P. D. Sharma, P. Singh, S. Sharma, et A. Wahi, « Comparative evaluation of efficacy and soft tissue wound healing using diode laser (810 nm) versus conventional scalpel technique for second-stage implant surgery », *J. Indian Soc. Periodontol.*, vol. 22, no 3, p. 228, 2018.
- [84] J.-W. Yao, X. Tao, Z.-Q. Xu, J.-Y. Li, et H.-L. Wang, « Erbium YAG laser and diode laser applications for the second phase of implant surgery: a comparison of clinical outcomes », *Lasers Dent. Sci.*, vol. 3, no 4, p. 241-245, déc. 2019, doi: 10.1007/s41547-019-00070-x.
- [85] K. El-Kholey, « Efficacy and safety of a diode laser in second-stage implant surgery: a comparative study », *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.*, vol. 43, no 5, p. 633-638, 2014.
- [86] S. Gianfranco, S. Francesco, et R. J. Paul, « Erbium and diode lasers for operculisation in the second phase of implant surgery: a case series », *Timisoara Med J*, vol. 60, p. 117-23, 2010.
- [87] J. Arnabat-Domínguez, A. J. España-Tost, L. Berini-Aytés, et C. Gay-Escoda, « Erbium:YAG Laser Application in the Second Phase of Implant Surgery: A Pilot Study in 20 Patients », *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, vol. 18, no 1, p. 104-112, févr. 2003.
- [88] J. Matys et M. Dominiak, « Assessment of pain when uncovering implants with Er: YAG laser or scalpel for second stage surgery », *Adv. Clin. Exp. Med.*, vol. 25, no 6, p. 1179-1184, 2016.
- [89] J. Arnabat-Domínguez, M. Bragado-Novel, A. J. España-Tost, L. Berini-Aytés, et C. Gay-Escoda, « Advantages and esthetic results of erbium, chromium:yttrium–scandium–gallium–garnet laser application in second-stage implant surgery in patients with insufficient gingival attachment: a report of three cases », *Lasers Med. Sci.*, vol. 25, no 3, p. 459-464, mai 2010, doi: 10.1007/s10103-009-0728-6.
- [90] F. A. Alshehri, « The role of lasers in the treatment of peri-implant diseases: A review », *Saudi Dent. J.*, vol. 28, no 3, p. 103-108, juill. 2016, doi: 10.1016/j.sdentj.2015.12.005.
- [91] F. Schwarz, J. Derks, A. Monje, et H.-L. Wang, « Peri-implantitis », *J. Clin. Periodontol.*, vol. 45, no S20, p. S246-S266, 2018, doi: 10.1111/jcpe.12954.
- [92] M. Bassetti et al., « Anti-infective therapy of peri-implantitis with adjunctive local drug delivery or photodynamic therapy: 12-month outcomes of a randomized controlled clinical trial », *Clin. Oral Implants Res.*, vol. 25, no 3, p. 279-287, 2014.
- [93] E. Birang, M. R. T. Ardekani, M. Rajabzadeh, G. Sarmadi, R. Birang, et N. Gutknecht, « Evaluation of effectiveness of photodynamic therapy with low-level diode laser in nonsurgical treatment of peri-implantitis », *J. Lasers Med. Sci.*, vol. 8, no 3, p. 136, 2017.
- [94] G. Caccianiga, G. Rey, M. Baldoni, et A. Paiusco, « Clinical, radiographic and microbiological evaluation of high level laser therapy, a new photodynamic therapy protocol, in peri-implantitis treatment; a pilot experience », *BioMed Res. Int.*, vol. 2016, 2016.

- [95] V. Arisan, Z. C. Karabuda, S. V. Arıcı, N. Topçuoğlu, et G. Külekçi, « A randomized clinical trial of an adjunct diode laser application for the nonsurgical treatment of peri-implantitis », *Photomed. Laser Surg.*, vol. 33, no 11, p. 547-554, 2015.
- [96] M. R. Karimi, A. Hasani, et S. Khosroshahian, « Efficacy of antimicrobial photodynamic therapy as an adjunctive to mechanical debridement in the treatment of peri-implant diseases: a randomized controlled clinical trial », *J. Lasers Med. Sci.*, vol. 7, no 3, p. 139, 2016.
- [97] U. Romeo, G. M. Nardi, F. Libotte, S. Sabatini, G. Palaia, et F. R. Grassi, « The antimicrobial photodynamic therapy in the treatment of peri-implantitis », *Int. J. Dent.*, vol. 2016, 2016.
- [98] M. D. Al Amri, S. V. Kellesarian, A. Ahmed, A. A. Al-Kheraif, G. E. Romanos, et F. Javed, « Efficacy of periimplant mechanical debridement with and without adjunct antimicrobial photodynamic therapy in patients with type 2 diabetes mellitus », *Photodiagnosis Photodyn. Ther.*, vol. 14, p. 166-169, 2016.
- [99] F. Javed et al., « Efficacy of periimplant mechanical debridement with and without adjunct antimicrobial photodynamic therapy in the treatment of periimplant diseases among cigarette smokers and non-smokers », *Photodiagnosis Photodyn. Ther.*, vol. 16, p. 85-89, 2016.
- [100] G. P. Bombeccari, G. Guzzi, F. Gualini, S. Gualini, F. Santoro, et F. Spadari, « Photodynamic therapy to treat periimplantitis », *Implant Dent.*, vol. 22, no 6, p. 631-638, 2013.
- [101] S. K. Salaria, I. Sharma, N. K. Brar, et S. Kaur, « Diode laser and periodontal regeneration-assisted management of implant complications in anterior maxilla », *Contemp. Clin. Dent.*, vol. 9, no 1, p. 114, 2018.
- [102] F. Lerario et al., « Non-surgical periodontal treatment of peri-implant diseases with the adjunctive use of diode laser: preliminary clinical study », *Lasers Med. Sci.*, vol. 31, no 1, p. 1-6, 2016.
- [103] N. A. Valente et S. Andreana, « Treatment of Peri-implantitis Using a Combined Decontaminative and Regenerative Protocol: Case Report », *Compend. Contin. Educ. Dent. Jamesburg NJ* 1995, vol. 39, no 2, p. 96-101, 2018.
- [104] C. A. Papadopoulos, I. Vouros, G. Menexes, et A. Konstantinidis, « The utilization of a diode laser in the surgical treatment of peri-implantitis. A randomized clinical trial », *Clin. Oral Investig.*, vol. 19, no 8, p. 1851-1860, 2015.
- [105] T. Abduljabbar, F. Javed, S. V. Kellesarian, F. Vohra, et G. E. Romanos, « Effect of Nd: YAG laser-assisted non-surgical mechanical debridement on clinical and radiographic peri-implant inflammatory parameters in patients with peri-implant disease », *J. Photochem. Photobiol. B*, vol. 168, p. 16-19, 2017.
- [106] D. Nicholson et al., « Pulsed Nd: YAG laser treatment for failing dental implants due to peri-implantitis », présenté à *Lasers in Dentistry XX*, 2014, vol. 8929, p. 89290H.

- [107] G. R. Persson, A. Roos-Jansåker, C. Lindahl, et S. Renvert, « Microbiologic results after non-surgical erbium-doped: yttrium, aluminum, and garnet laser or air-abrasive treatment of peri-implantitis: a randomized clinical trial », *J. Periodontol.*, vol. 82, no 9, p. 1267-1278, 2011.
- [108] F. Schwarz, N. Sahm, G. Iglhaut, et J. Becker, « Impact of the method of surface debridement and decontamination on the clinical outcome following combined surgical therapy of peri-implantitis: a randomized controlled clinical study », *J. Clin. Periodontol.*, vol. 38, no 3, p. 276-284, 2011.
- [109] F. Schwarz, G. John, A. Hegewald, et J. Becker, « Non-surgical treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis at zirconia implants: a prospective case series », *J. Clin. Periodontol.*, vol. 42, no 8, p. 783-788, 2015.
- [110] F. Schwarz, G. John, A. Schmucker, N. Sahm, et J. Becker, « Combined surgical therapy of advanced peri-implantitis evaluating two methods of surface decontamination: A 7-year follow-up observation », *J. Clin. Periodontol.*, vol. 44, no 3, p. 337-342, 2017.
- [111] B. Pommer et al., « Periimplantitis treatment: long-term comparison of laser decontamination and implantoplasty surgery », *Implant Dent.*, vol. 25, no 5, p. 646-649, 2016.
- [112] M. R. Norton, « Efficacy of Er: YAG Laser in the Decontamination of Peri-implant Disease: A One-Year Prospective Closed Cohort Study », *Int. J. Periodontics Restorative Dent.*, vol. 37, no 6, 2017.
- [113] G. John, J. Becker, A. Schmucker, et F. Schwarz, « Non-surgical treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis at two-piece zirconium implants: A clinical follow-up observation after up to 3 years », *J. Clin. Periodontol.*, vol. 44, no 7, p. 756-761, 2017.



SERMENT MEDICAL

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'HIPPOCRATE.

Je promets et je jure, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine Dentaire.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.

J'informerai mes patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des connaissances pour forcer les consciences.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leur père.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois déshonoré et méprisé de mes confrères si j'y manque.

MANGEOT Marie – Intérêts du laser en implantologie orale.

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix-Marseille Université : 2020

Rubrique de classement : **Implantologie**

Résumé :

Le développement de la technologie laser et son utilisation croissante en implantologie orale, suggère une approche moderne de la pratique implantaire, en complément des techniques et instrumentations conventionnelles.

L'hétérogénéité des indications et des travaux scientifiques à propos de cette technologie justifiait de faire le point sur plusieurs questions d'ordre clinique.

Ce travail expose ainsi en premier lieu les grands phénomènes physiques exprimés dans la technologie laser, puis dans un second temps, propose une revue systématique de la littérature répondant à 6 problématiques : (1) Dans quelles indications et pour quels bénéfices utiliser le laser en chirurgie pré-implantaire ? ; (2) Pendant la première phase implantaire ? ; (3) Pendant la deuxième phase implantaire ? ; (4) Quels sont les effets de la photothérapie de faible intensité sur la néoformation osseuse ? ; (5) Sur la stabilité implantaire ? ; Et enfin, (6) Le laser est-il un outil efficace dans le traitement des péri-implantites ?

Mots clés :

Implant dentaire

Thérapie laser

Photothérapie de faible intensité

Biostimulation au laser

Péri-implantite

MANGEOT Marie – Benefits of Laser in oral implantology.

Abstract :

The development of laser technology and its increasing use in oral implantology suggests a modern approach to implant practice, complementing conventional techniques and instrumentations.

The heterogeneity of indications and scientific papers on this technology justified taking stock of several clinical issues.

This work thus first exposes the major physical phenomena expressed in laser technology, and then proposes a systematic review of the literature answering 6 questions: (1) In which indications and for which benefits should the laser be used in pre-implant surgery ? ; (2) During the first implant phase ? ; (3) During the second implant phase ? ; (4) What are the effects of low level laser therapy on bone neoformation ? ; (5) On implant stability ? ; And finally, (6) Is the laser an effective tool in the treatment of peri-implantitis ?

MeSH :

Dental implant

Laser therapy

Low-Level Light Therapy

Laser Biostimulation

Peri-implantitis

Adresse de l'auteur :

B23 Le clos des lavandes,

141 route d'Ansouis

84120 PERTUIS