



HAL
open science

Utilisation de la Low Level Laser Therapy dans les case de résorptions radiculaires inflammatoires induites par l'orthodontie : une revue systématique de la littérature

Manon Canto

► To cite this version:

Manon Canto. Utilisation de la Low Level Laser Therapy dans les case de résorptions radiculaires inflammatoires induites par l'orthodontie : une revue systématique de la littérature. Médecine humaine et pathologie. 2019. dumas-03692102

HAL Id: dumas-03692102

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03692102v1>

Submitted on 9 Jun 2022

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

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

UNIVERSITE CLERMONT AUVERGNE
UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2019

Thèse n°

THESE

Pour le DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE-DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 20 septembre 2019

par

Manon CANTO

**UTILISATION DE LA LOW LEVEL LASER THERAPY
DANS LES CAS DE RESORPTIONS RADICULAIRES
INFLAMMATOIRES INDUITES PAR L'ORTHODONTIE :**

Une revue systématique de la littérature

Président du Jury :	M. NICOLAS Emmanuel	Professeur des Universités, Praticien Hospitalier
Membre du Jury :	M. DEVOIZE Laurent	Professeur des Universités, Praticien Hospitalier
	M. DECERLE Nicolas	Maître de Conférences des Universités, Praticien hospitalier
	Mme SOULIER-PEIGUE Delphine	Praticien hospitalier
Directrice de thèse :	Mme BAUER Cynthia	Assistante Hospitalo - Universitaire

**UNIVERSITE CLERMONT AUVERGNE
UFR ODONTOLOGIE
63000 CLERMONT-FERRAND**

<i>Président de l'Université</i>	:	Monsieur le Professeur Mathias BERNARD
<i>Directeur Général des Services</i>	:	Monsieur François PAQUIS
DOYEN DE L'UFR D'ODONTOLOGIE	:	Monsieur Emmanuel NICOLAS Professeur des Universités
VICE-DOYEN, Directrice des Etudes	:	Madame Marion BESSADET Maître de Conférences des Universités

LISTE DES PROFESSEURS

Professeurs des Universités – Praticiens hospitaliers :

Monsieur Pascal AUROY	- Prothèses
Monsieur Radhouane DALLEL	- Sciences Anatomiques
Monsieur Laurent DEVOIZE	- Pathologie et Thérapeutique Dentaires
Madame Sophie DOMEJEAN	- Odontologie Conservatrice, Endodontie
Madame Martine HENNEQUIN	- Odontologie Conservatrice, Endodontie
Monsieur Emmanuel NICOLAS	- Prothèses
Monsieur Thierry ORLIAGUET	- Sciences Biologiques
Madame Valérie ROGER-LEROI	- Sciences Biologiques
Madame Stéphanie TUBERT-JEANNIN	- Prévention, Epidémiologie
Monsieur Jean-Luc VEYRUNE	- Prothèses

Maîtres de Conférences des Universités – Praticiens hospitaliers :

Madame Marion BESSADET	- Prothèses
Monsieur Hervé BESSE	- Pédiodontie
Monsieur Guillaume BONNET	- Prothèses
Monsieur Didier COMPAGNON	- Prothèses
Monsieur Pierre-Yves COUSSON	- Odontologie Conservatrice, Endodontie
Monsieur Nicolas DECERLE	- Odontologie Conservatrice, Endodontie
Monsieur Christophe DESCHAUMES	- Pathologie et Thérapeutique Dentaires
Monsieur Jean-Christophe DUBOIS	- Prothèses
Madame Cindy LANCE	- Prothèses
Madame Christelle RICHARD	- Pédiodontie
Mademoiselle Céline MELIN	- Sciences Anatomiques
Madame Estelle MACHAT	- Prévention, Epidémiologie
Monsieur Paul PIONCHON	- Sciences Anatomiques
Monsieur Dominique ROUX	- Odontologie Conservatrice, Endodontie

Professeur des Universités :

Monsieur Alain ARTOLA	- Neurosciences
-----------------------	-----------------

Maître de Conférences des Universités :

Mademoiselle Lénaïc MONCONDUIT	- Neurosciences
--------------------------------	-----------------

Professeur Certifié

Mademoiselle Gaëlle DUCOS	- Anglais
---------------------------	-----------

Maîtres de Conférences des Universités Associés :

Monsieur Félix AUTISSIER	- Sciences de Gestion
Madame Anne DEPREUX	- Informatique et Pédagogie
Madame Merian NASSRA	- Sciences Biologiques

Remerciements personnels

À toutes les personnes qui font de ma vie ce qu'elle est actuellement!

À Maman, Papa, Léo et toute ma famille,

Je vous remercie d'avoir cru en moi et de m'avoir soutenu tout au long de ces années. Cela n'a pas été sans mal, mais votre présence à mes côtés m'a permis d'arriver là où je suis aujourd'hui, gardant toujours à l'esprit mon objectif premier : vous rendre fier de moi. Cette réussite je vous la dois en partie, merci.

À la famille Joblin,

Vous faites entièrement partie de ma famille, je tiens à vous remercier chaleureusement pour m'avoir accompagnée tout au long de ma vie, dans toutes mes aventures.

À William,

Tout a commencé avec un « Salut, comment vas-tu ? ». Qui aurait pu imaginer une seule seconde que cette simple phrase aurait été le commencement d'une histoire exceptionnelle.

Je tiens à te dire merci. Merci pour ta persévérance, sans laquelle rien n'aurait été possible. Chaque jour qui passe, je mesure la chance que j'ai de pouvoir partager ma vie avec toi. Je tiens à te remercier pour chacun de ces instants passés à tes côtés, nos discussions sans fin et nos longues balades sont des moments précieux à mes yeux qui je l'espère, ne cesseront jamais. Je tiens aussi à te remercier pour ta gentillesse, ton respect et ta bienveillance envers moi, ta tendresse et tes attentions de tous les jours, ta sincérité et ta franchise. Ton naturel, ta curiosité, ta générosité, ton intelligence et ton courage sont une source d'inspiration pour moi.

Je te remercie également pour ta présence, si rassurante, dans les bons comme dans les mauvais moments, et ton soutien sans faille. Avec toi à mes côtés, tout est si facile, si naturel que je suis prête à vivre pleinement la vie.

Je t'aime, et plus que bien...

À Marion,

Tu occupes une place toute spéciale dans ma vie. Le destin nous a fait nous rencontrer, et à chaque jour qui passe, je suis de plus en plus persuadée que ce n'était pas le fruit du hasard. L'histoire ne fait que commencer, pourtant c'est comme si tu avais toujours fait partie de ma vie, comme si l'on s'était toujours connue, un regard nous suffit pour se comprendre. Toi, mon âme-sœur, tu es celle avec qui on rit, on pleure, on vit. Celle avec qui on se sent en confiance, avec qui il n'y a aucun tabou. Celle qui fait en sorte que nous nous épaulerons dans toutes les situations, mêmes les plus inimaginables. Je t'admire, je te jalouse en silence sans aucune méchanceté, simplement par inspiration.

Parce qu'il n'y a rien de plus vrai et de plus beau que d'ouvrir son cœur aux gens que l'on aime, je tiens tout simplement à te dire merci. Merci de faire partie de ma vie, d'apaiser mes maux et d'égayer mes journées. Merci d'être simplement qui tu es.

À Marjorie,

Sincèrement merci. Tu es l'amie exceptionnelle dont tout le monde rêve, tu ne peux imaginer à quel point tu es importante à mes yeux et indispensable à ma vie. Tu m'as tellement donné, je ne te remercierais jamais assez pour tout ce que tu as fait pour moi. Je suis tellement heureuse que tu fasses partie de ma vie et de pouvoir partager chaque instant avec toi. Tu es toujours présente, même dans les situations les plus invraisemblables, et je tiens à te remercier pour ça.

À Morgane,

Mille mercis! Tu es un des piliers de ma vie. Tu as toujours été présente pour partager les moments agréables de la vie et pour me soutenir. Tu as toujours su trouver les mots pour me reconforter, pour m'aider à affronter les moments difficiles de la vie. Tu es un vrai petit soleil à mes yeux, je suis chanceuse de t'avoir à mes côtés. Je tiens alors à te dire encore merci à toi, et, à toute ta famille.

À Joëlle et Serge,

Je vous remercie de m'avoir accueilli aussi chaleureusement dans votre famille, je vous considère un peu comme mes parents de substitution. Vous faites partie de ma vie, je suis consciente de cette chance que j'ai et j'en suis la plus heureuse. Je vous remercie pour votre soutien et pour tous ces moments exceptionnels passés à vos côtés, nous avons partagé tellement d'aventures ensemble ! Merci pour tout.

Aux Docteurs Lucchetti et Dourlhies,

Je tiens à vous remercier pour toutes ces journées enrichissantes passées à vos côtés. Vous m'avez ouvert les yeux et donné l'envie de faire de cette magnifique profession mon métier. Je vous remercie également pour votre soutien qui était un des plus importants à mes yeux.

À Coline,

Tu es la douceur incarnée. Je t'admire, j'admire ta beauté intérieure. Toutes ces années d'externat passées à tes côtés ont été un réel bonheur. Tu as toujours une belle parole ou un mot doux pour égayer la journée des personnes qui t'entourent. Merci pour tout ces bons moments passés à tes côtés que je n'oublierai jamais.

À Charlotte,

Tu es une personne formidable que je t'ai toujours admirée tant professionnellement que personnellement. Ces années d'externat passées à tes côtés étaient un réel plaisir. Qu'est-ce qu'on a pu rire ! Je garde un beau souvenir de toutes ces années passées ensemble. Je n'ai qu'un seul regret, c'est de ne pas avoir su en profiter plus.

À Caroline,

Durant notre année de binômat, tu m'as fait découvrir le métier de chirurgien-dentiste, et il faut avouer que je n'en aurais pas retenu grand chose. Tu m'as surtout montré la voie pour arriver là où je suis aujourd'hui, tu as été un réel modèle pour moi, merci ! Hormis tout cela, j'ai aussi découvert une amie fantastique, et chère à mon cœur.

À Maïlys,

Je te remercie pour la gentillesse et la patience dont tu as fait preuve lors de notre année de binômat. Cette année passée ensemble me laisse un souvenir magnifique.

À Cynthia,

Ce n'est que le début d'une belle amitié. Je tiens à te dire merci pour tous ces bons moments passés en ta présence que ce soit au fauteuil ou à une terrasse. Ces deux années à tes côtés ont été riches en émotions en particulier en rires. Merci pour ton soutien, sans qui tout ce travail n'aurait pu être possible.

À Romain,

Mon internat n'aurait pas été ce qu'il a été sans toi ! Merci pour tout, merci pour ta présence à mes côtés, ton soutien et ta gentillesse. Avec Marion, vous m'avez donné le courage nécessaire pour faire de ma vie ce qu'elle est aujourd'hui, merci car sans vous je n'aurais peut-être jamais connu ce bonheur que je vis actuellement. Tu es un ami extraordinaire, toujours à l'écoute et de plus ou moins bons conseils. Il y a une chose que je garderai en mémoire toute ma vie, c'est ton rire, si joyeux et chaleureux (et tes jolis poèmes aussi).

À Lucie,

Ta rencontre fut une belle surprise. Qui l'eut cru que derrière ce petit bout de femme se cachait une personne extraordinaire. Toujours à l'écoute et sans cesse de bons conseils. Prête à toute heure pour passer un moment agréable autour d'un verre ou pour manger de bonnes choses. Merci, merci pour ton soutien et ta gentillesse.

À **Marie-Laure** et **Noémie**, j'aurais tellement aimé vous connaître plus tôt, mais vaut mieux tard que jamais! Je suis ravie d'avoir fait votre connaissance et d'avoir partagé cet internat avec vous. Dans cette grande famille qu'est celle des internes, vous êtes un peu comme des mamans. Vous êtes la voix de la sagesse, toujours à l'écoute et de bons conseils pour nous venir en aide. Toujours de bonne humeur, d'une gentillesse infinie et d'une grande générosité, sans oublier votre grain de folie, chaque instant en votre présence fut une immense joie.

À **Victoire** et **Marie-Sophie**,

On a commencé ensemble et nous terminerons ensemble cet internat. Toujours de bonne humeur et d'une gentillesse incroyable, vous avez été d'un soutien immense durant toute cette période. Je suis tellement heureuse de vous avoir eu en tant que co-interne, ce fut un vrai bonheur d'avoir partagé ces années avec vous.

À **Pauline**,

Je te remercie pour ta gentillesse et ta sagesse. Ce fut un réel plaisir de travailler à tes côtés durant toutes ces années.

À **Gaëlle**,

Merci pour être qui tu es, le soleil du service d'ODF et une co-interne incroyable.

À **Louis**,

Plutôt solitaire, tu as su t'ouvrir au fil du temps afin que l'on découvre la personne que tu es réellement : quelqu'un de réservé au grand coeur. Tous les trois avec Romain très différents, mais se complétant à la perfection, et similaire sur un point, la plaisanterie ; ces trois années d'internat passées ensemble me laisseront de beaux souvenirs.

À **Chloé** et **Nicolas**,

Nos deux inséparables du centre de soins, je suis contente d'avoir fait votre connaissance. Toujours un mot gentil pour faire plaisir, ou une bêtise pour me faire rire. Travailler à vos côtés est vraiment une joie.

À **Julia**,

Je mesure la chance que j'ai d'avoir pu faire la connaissance de cette femme pétillante et sensible que tu es. Je n'oublierai jamais cette année passée toutes les trois avec Marion, entre soirées confidences, après-midis shopping, petits goûters, instants yoga... Nous avons tellement ri !

À **Anne-Claire**,

Tu es une femme extraordinaire! J'ai conscience de la chance que j'ai d'avoir pu faire ta connaissance, et de passer ces années d'internat à tes côtés.

Plus généralement, je voulais vous dire merci, à vous tous, **Marie, Florian, Jean-Denis, Cécile, Agnès, Audrey** et **Audrey**... Chacun de vous à jouer un rôle dans ma vie, j'ai tout un tas de souvenirs gravés à jamais dans ma mémoire, des bons comme des mauvais, mais je ne garde que le positif de tous ces instants passés à vos côtés.

Remerciements aux membres du jury

Au président du jury, À **Monsieur le Professeur Emmanuel NICOLAS,**
Doyen de l'UFR d'Odontologie - Professeur des Universités
Praticien Hospitalier, Prothèses

Pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury et de juger ce travail,
Que vous trouviez ici, l'expression de ma reconnaissance et de mon profond respect.

À **Monsieur le Professeur Laurent DEVOIZE,**
Professeur des Universités
Praticien Hospitalier, Pathologie et Thérapeutique Dentaires

Pour m'avoir fait l'honneur de juger ce travail,
Que vous trouviez ici, l'expression de ma reconnaissance et de mon profond respect.

À **Monsieur le Docteur Nicolas DECERLE,**
Maître de conférences des Universités
Praticien Hospitalier, Odontologie Conservatrice, Endodontie

Pour m'avoir fait l'honneur de juger ce travail,
Que vous trouviez ici, l'expression de ma reconnaissance et de mon respect.

À **Madame le Docteur Delphine SOULIER-PEIGUE,**
Praticien Hospitalier, Spécialiste qualifiée en Orthopédie Dento-Faciale

Pour m'avoir fait l'honneur de juger ce travail,
Pour m'avoir accompagnée tout au long de cet internat,
Que tu trouves ici, l'expression de ma reconnaissance et de mon respect.

À **ma directrice de thèse, À Madame le Docteur Cynthia BAUER,**
Assistante Hospitalo-Universitaire, Spécialiste qualifiée en Orthopédie Dento-Faciale

Pour ta patience et ton dévouement,
Pour ta pédagogie et ta volonté de transmettre ton savoir,
Tu as été une assistante hors pair, toujours de bons conseils,
Et une directrice de thèse exceptionnelle,
Ces deux années à tes côtés ont été des plus enrichissantes,
Que tu trouves ici, l'expression de ma reconnaissance, de mon respect et de mon amitié.

Remerciements aux enseignants qui ont marqué ma formation

À **Helou**,

Je te remercie pour tout le savoir que tu m'as transmis si généreusement. Tu as été un assistant sans égal, d'une grande gentillesse et toujours très pédagogue. Très persévérant, tu as également toujours fait preuve d'une immense patience avec nous, et je sais comme parfois ce n'était pas simple d'être notre professeur. Hormis le fait que tu sois notre super-assistant, tu es aussi devenu un ami.

À **Marwan**,

Je sais combien je t'ai taquiné durant toutes ces années, mais toujours avec bienveillance. Ces années à tes côtés ont été très appréciables, j'en garderai énormément de bons souvenirs. Je te souhaite beaucoup de bien Marwan, à toi ainsi qu'à toute ta famille.

À **Monsieur le Professeur Orliquet**,

Ce fut un honneur pour moi d'avoir été une de vos internes. Vous êtes un Chef de Service dévoué, toujours aux petits soins pour vos internes. Ce fut un réel plaisir d'avoir travaillé à vos côtés. Que vous trouviez ici, l'expression de ma reconnaissance et de mon respect.

Remerciements au personnel du Service d'Odontologie

À **Madame Tissot** et **Michèle** pour leur gentillesse et leur efficacité.

À **l'ensemble de l'équipe enseignante des autres spécialités** co-habitant avec le service d'ODF tout au long de l'année.

Aux **aides-soignantes, prothésistes et secrétaires**. Aux enseignants

TABLE DES MATIÈRES

I. Introduction	1
II. Matériel et méthodes	4
1. Équation, stratégie de recherche et bases de données interrogées	4
2. Méthode de sélection des articles	4
1. Critères d'inclusion	4
2. Critères d'exclusion	5
3. Stratégie de sélection des articles	5
3. Méthode d'analyse des articles	6
III. Résultats	7
1. Phase de sélection des articles	7
2. Analyse de la littérature disponible	8
1. Caractéristiques générales des études incluses	8
2. Caractéristiques relatives à la force orthodontique des études incluses	12
3. Caractéristiques relatives à la thérapie laser de faible intensité des études incluses	12
4. Effets de la LLLT sur l'OIIRR	16
IV. Discussion	18
1. Qualité de la recherche réalisée	18
1. Période de parution, type et qualité de la littérature rencontrée	18
2. Limites méthodologiques liées à la recherche elle-même	19
3. Limites méthodologiques liées au choix des critères de sélection	19
4. Limites liées à la comparabilité des études sélectionnées	20
2. Discussion des principaux résultats obtenus	22
V. Conclusion	26
VI. Bibliographie	28

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 : Caractéristiques générales des études incluses

Tableau 2 : Caractéristiques relatives à la LLLT des études incluses

Tableau 3 : Principaux résultats des études incluses

Tableau 4 : Scores ARRIVE et CONSORT des études incluses

Figure 1 : Diagramme de flux

Graphique 1 : Population de l'échantillon

Graphique 2 : Méthode d'évaluation de l'OIIR

Graphique 3 : Dispositif de LLLT utilisé

Graphique 4 : Mode d'émission

Graphique 5 : Effets de la LLLT sur l'OIIR

TABLES DES ABRÉVIATIONS

Al-Ga-In-P	LASER Aluminium-Gallium-Indium-Phosphide
ATP	Adénosine TriPhosphate
CP	Corticopuncture : Corticotomie
D	Distal
DFDBA	Matériau d'allogreffe osseuse
Ga-Al-AS	LASER Gallium-Aluminium-Arsenide
GC	Groupe contrôle
GE	Groupe expérimental
Gr	Gramme
Grp	Groupe
HD	High Dose : Forte dose
J	Jour
LD	Low Dose : Faible dose
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation : Amplification de lumière par émission stimulée de radiation
LED	Light-Emitting Diode : Diode électroluminescente
LLLT	Low Level Laser Therapy : Thérapie au laser de faible intensité
M	Mésial
MEB	Microscope électronique à balayage
Min	Minute
MTA	Appareil multi-attache
Mvt	Mouvement
OIRR	Orthodontically Induced Inflammatory Root Resorption : Résorption radiculaire inflammatoire induite par l'orthodontie
OTM	Orthodontic Tooth Movement : Mouvement dentaire orthodontique
P	Palatin
PM	Prémolaire
RCT	Randomized Controlled Trial : Essai contrôlé randomisé
Sec	Seconde
Sem	Semaine
V	Vestibulaire
VV	Version vestibulaire
NR	Non renseigné

4	Première prémolaire
6	Première molaire
14	Première prémolaire maxillaire droite
16	Première molaire maxillaire droite
24	Première prémolaire maxillaire gauche
26	Première molaire maxillaire gauche
34	Première prémolaire mandibulaire gauche
*	Désigne un résultat statistiquement significatif
-	Absence d'OTM et de toute thérapeutique telle que la LLLT
♀	Fille
♂	Garçon

I. INTRODUCTION

Le terme rhizalyse désigne la résorption physiologique ou pathologique d'une racine dentaire (1). Elle consiste en une perte de ciment et/ou de dentine radiculaire, se manifestant radiologiquement par une diminution de la longueur radiculaire.

Actuellement, on sait que l'étiologie de ces résorptions radiculaires est multifactorielle (2).

Les facteurs de causalité peuvent être liés au patient (susceptibilité individuelle, facteurs génétiques, facteurs systémiques, facteurs anatomiques, antécédents de traumatismes, alcoolisme, occlusion traumatique, dysfonctions, para-fonctions, etc.). Mais dans certains cas, leur origine est iatrogène, et, elles peuvent être observées à la suite d'un traitement orthodontique. Les facteurs de causalité sont alors mécaniques et liés au traitement orthodontique lui-même (type de mouvement, intensité de la force appliquée, modalités de la force appliquée, type d'appareil, durée de traitement, amplitude du mouvement et importance du déplacement apical, etc.) (3, 4).

Si des études histologiques ont rapporté plus de 90 % de survenue de résorption radiculaire sur des dents déplacées orthodontiquement, dans la plupart des cas, la perte de structure de la racine est minimale et cliniquement insignifiante (3, 5). Les incisives maxillaires sont les dents les plus affectées, avec en moyenne des résorptions radiculaires inflammatoires apicales externes de l'ordre de 2 mm (+/- 1 mm), suivies par les incisives mandibulaires puis les premières molaires mandibulaires (3, 6, 7, 8, 9).

Chez certains patients les OIIRR peuvent être plus sévères. On estime qu'elles sont supérieures à 3 mm chez 4% des patients et supérieures à 5 mm dans 5% des cas (10, 11, 12).

Or, une résorption radiculaire sévère peut compromettre le pronostic des dents concernées. C'est pour cette raison que la prévention et le dépistage des OIIRR doivent être une priorité pour le praticien.

Bien que les facteurs biologiques de causalité ne soient pas sous notre contrôle, leur connaissance permet le dépistage des patients à haut risque de résorption radiculaire afin d'assurer une surveillance adaptée et la prévention de leur survenue (3, 13).

Une résorption commence approximativement entre deux et cinq semaines de traitement, mais elle n'est radiologiquement décelable qu'au bout de trois à quatre mois. Il est donc recommandé d'assurer un contrôle radiographique régulier après six à neuf mois de traitement pour permettre un dépistage le plus précoce possible (4).

Les facteurs mécaniques peuvent être contrôlés dans une certaine mesure par le clinicien et/ou le patient, afin de limiter leur apparition. Ainsi, il est préconisé : d'utiliser des forces légères et discontinues afin de permettre la régénération du ciment, d'éviter les mouvements de trop grande amplitude, ainsi que les mouvements radiculaires (tel que le torque) et ceux concentrant la force appliquée au niveau de l'apex (tel que l'ingression). Il est également recommandé de toujours privilégier le plan de traitement le plus simple et le plus court (4).

Cependant, les facteurs de risque à l'origine des OIIRR peuvent agir individuellement ou en synergie (3, 12). Il est donc difficile de limiter la survenue de ces effets indésirables. Pour les patients, présentant à la fois des facteurs de risque biologiques et mécaniques, les praticiens n'ont à l'heure actuelle que peu de solutions préventives et curatives des OIIRR. Si malgré toutes les précautions prises une résorption apparaît, il est simplement recommandé de stopper le traitement actif pendant deux à trois mois pour favoriser la cicatrisation cémentaire (4, 14).

En raison des conséquences des résorptions radiculaires, pouvant aller jusqu'à la perte de la dent, de leur grande prévalence et de leur impact en santé publique, la communauté scientifique tente actuellement de trouver des outils permettant de prévenir, stopper précocement ou réparer les OIIRR.

Il a été récemment démontré que la survenue des résorptions radiculaires peut être réduite grâce à l'utilisation de médicaments et d'hormones, tel que le biphosphonate, le nabumétone, le fluorure, le L-thyroxine, la vitamine D ou la prostaglandine (15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23). Cependant, la prévention des résorptions radiculaires apicales externes par l'utilisation de médiateurs de l'inflammation ou d'une thérapie cellulaire est risquée chez l'Homme du fait du manque d'études à ce sujet et du peu de connaissances actuelles sur leurs effets secondaires (3). L'intérêt de la communauté scientifique s'est donc rapidement porté vers une autre technique connue pour son effet biologique maîtrisé : la photobiomodulation par Low Level Laser Therapy.

La photobiomodulation est une approche thérapeutique, courante en médecine, basée sur la capacité des rayonnements lumineux à agir sur le vivant sans l'altérer.

La photobiomodulation par LLLT consiste en l'utilisation de lumières LASER ou LED de basses énergies dans les longueurs d'onde du rouge et du proche infrarouge (600 nm - 1000 nm) sur des durées importantes d'exposition (24). Le LASER est une « Amplification de Lumière par émission Stimulée de Radiation » (25), il s'agit d'un dispositif amplifiant et rassemblant la lumière en un étroit faisceau, dit cohérent, où les ondes et les photons se propagent en phase (25, 26, 27).

La LED « Light-Emitting Diode » est quant à elle une diode électroluminescente, c'est-à-dire un

composant électronique émettant de la lumière monochromatique à partir d'une excitation électrique (28).

Grâce à leurs photons, ces ondes lumineuses peuvent induire des modifications de l'activité enzymatique des cellules en stimulant la cytochrome C-oxydase par absorption de la lumière au niveau de la chaîne respiratoire de la mitochondrie, permettant ainsi l'augmentation de la production d'ATP et entraînant la libération de facteurs de croissance à l'origine de la prolifération cellulaire (29, 30, 31).

Les LASER et les LED ont fait leurs preuves en orthodontie dans l'accélération des mouvements dentaires et la diminution de la douleur post-activation orthodontique (32, 33, 34, 35, 47).

Récemment, la LLLT a été utilisée dans de multiples études expérimentales animales (36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46), afin de mettre en évidence son efficacité sur les résorptions radiculaires inflammatoires apicales externes induites par l'orthodontie. Les premières études chez l'Homme (47, 48) sont parues en 2018.

Bien que prometteuse, il n'existe actuellement aucun consensus concernant l'efficacité, le mode d'action ou encore le protocole le plus adapté pour la mise en œuvre de la LLLT dans le cadre des OIIRR (49). Des études supplémentaires sont donc nécessaires afin de clarifier son influence et d'optimiser son protocole d'utilisation.

Par conséquent, nous avons donc décidé de réaliser une revue systématique de la littérature avec pour objectif principal, le bilan des preuves scientifiques actuellement disponibles à ce jour concernant les effets protecteurs et/ou réparateurs de la LLLT sur les OIIRR, et pour objectif secondaire, la rédaction d'un protocole clinique de bonnes pratiques pour l'utilisation de la LLLT sur les OIIRR.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Équation, stratégie de recherche et bases de données interrogées

Une recherche systématique d'articles a été conduite au mois d'avril 2019 par deux investigateurs distincts dans les bases de données suivantes : Cochrane, PubMed, Scopus et DOSS.

Pour chaque base de données, une seule équation de recherche, englobant les termes s'intéressant à notre problématique, a été soumise : **(root resorption) AND (low laser)**.

Pour compléter cette première recherche numérique, une seconde recherche, cette fois-ci manuelle, a été réalisée de manière ascendante au sein des bibliographies des articles présélectionnés.

2. Méthode de sélection des articles

1. Critères d'inclusion

Les articles répondant aux critères suivants ont été inclus dans notre revue :

- Étude expérimentale conduite chez l'animal ;
- Étude clinique contrôlée conduite chez l'Homme ;
- Étude portant sur les effets préventifs et/ou réparateurs de la LLLT sur les OIIRR ;
- Étude utilisant le LASER ou la LED dans le cadre d'une LLLT ;
- Sans restriction de langue ;
- Sans restriction de statut de publication.

2. Critères d'exclusion

Les articles présentant au moins un des critères suivants ont été exclus de notre revue :

- Essai clinique réalisé sans groupe contrôle ;
- Étude dont l'objectif principal ne portait pas sur les effets de la LLLT sur l'OIRR ;
- Étude traitant principalement du mouvement dentaire et/ou de la douleur lors de ces mouvements ;
- Article s'intéressant aux dents transplantées ou réimplantées ;
- Étude utilisant une méthode d'imagerie bidimensionnelle pour analyser les OIRR.

3. Stratégie de sélection des articles

Après avoir interrogé les bases de données avec l'équation de recherche établie, la sélection des articles s'est effectuée de la manière suivante :

- La première étape a permis de présélectionner les articles en fonction de leur titre ;
- La deuxième étape consistait à lire le résumé des articles présélectionnés afin de les inclure ou de les exclure en fonction du respect des critères de sélection ;
- Lors de la troisième étape, les articles ont été lus en intégralité afin de les inclure ou de les exclure définitivement ;
- La quatrième étape correspondait à l'analyse de l'ensemble des articles retenus ; les résultats ont été consignés dans un tableau d'extraction de données.

3. Méthode d'analyse des articles

La phase d'analyse des articles avait pour but de mettre en évidence l'impact de la LLLT, en matière d'effets préventifs et/ou réparateurs, sur les OIIRR.

Les informations nécessaires ont été enregistrées dans un tableau d'extraction de données par un opérateur unique, et, les informations recueillies étaient les suivantes :

- Généralités : Auteur et année de publication ;
- Caractéristiques de l'échantillon : Nombre et type de sujets ;
- Caractéristiques des groupes étudiés et durée de leur suivi ;
- Paramètres liés au protocole d'analyse des OIIRR : Type d'analyse réalisée ;
- Paramètres liés au dispositif orthodontique utilisé : Type d'appareil, type d'OTM réalisé, intensité de la force délivrée ;
 - Paramètres liés à la thérapeutique employée : Type de diode laser, mode d'émission, longueur d'onde utilisée, dose totale administrée, moment de l'application, durée de l'application, fréquence de l'application, nombre et localisation des points d'application ;
 - Paramètres liés à l'évaluation des effets de la thérapeutique : Valeurs enregistrées et effet procuré.

En cas d'informations manquantes, seules les données disponibles ont été conservées et analysées.

Cependant, pour faciliter la comparaison des résultats obtenus, une conversion systématique de la valeur de la fluence en J/cm² a été effectuée avant de recueillir l'information.

III. RÉSULTATS

1. Phase de sélection des articles

Lors de la recherche numérique par équation, 91 articles ont été identifiés au sein des bases de données interrogées. Après élimination des articles en doublon, lecture complète et application des critères de sélection, seuls onze articles ont été retenus.

La recherche manuelle, à partir de la bibliographie des articles inclus, a permis d'inclure un article supplémentaire et un article, découvert fortuitement, a également été ajouté, portant ainsi le nombre final d'articles à analyser à treize.

Le diagramme de flux récapitulant notre démarche d'identification et de sélection des articles est résumé dans la Figure 1.

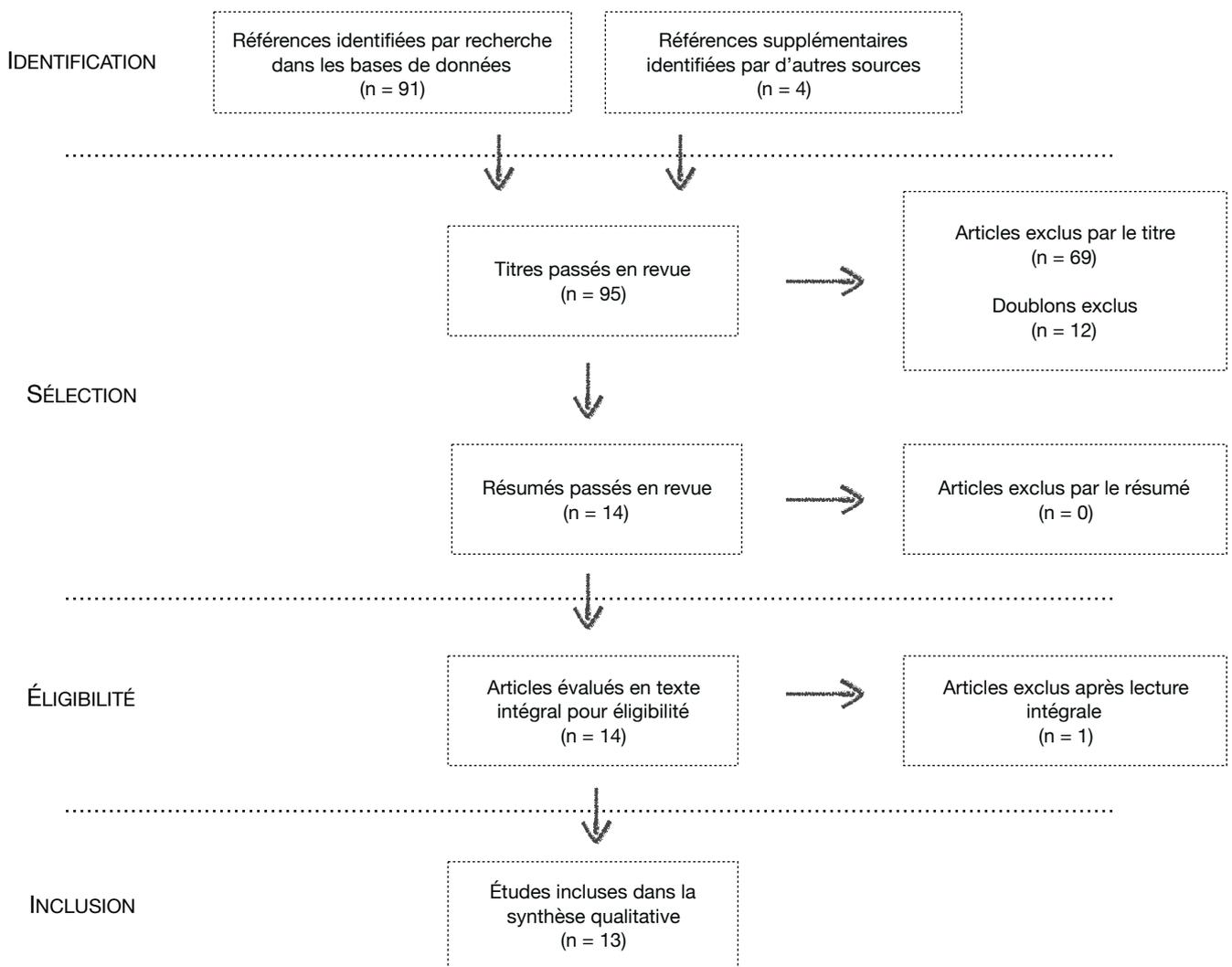


Figure 1 : Diagramme de flux

2. Analyse de la littérature disponible

1. Caractéristiques générales des études incluses

Les caractéristiques générales des études incluses sont présentées dans le Tableau 1 et illustrées dans les Graphiques 1 et 2.

Sur treize études, 85 % d'entre elles (n = 11) étaient des études animales expérimentales (36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46).

La totalité de ces études étaient contrôlées par un groupe témoin sans LLLT, et trois d'entre elles ont utilisé un design en split mouth (42, 44, 46).

Le nombre d'animaux inclus variait entre 16 et 68 individus, 10 études ont été réalisées avec des rats mâles (36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46) et 1 seule avec des lapins mâles (38).

La durée des études variait entre 1 et 48 jours avec un suivi moyen de 18 jours.

Les principales méthodes d'évaluation étaient, par ordre décroissant : les analyses histologiques (n = 6) (36, 37, 38, 40, 42, 44), histomorphométriques (n = 4) (39, 41, 42, 46), la tomодensitométrie (Micro-Computed Tomography) (n = 3) (42, 43, 44), l'immunohistochimie (n = 3) (40, 42, 46), et la microscopie électronique à balayage (n = 2) (42, 45).

Les deux articles restant étaient des essais cliniques menés chez l'Homme (47, 48).

Les études étaient randomisées, contrôlées par un groupe témoin utilisant un LASER placebo, menées en double aveugle et en split-mouth (47, 48).

Chacune d'entre elles présentait un échantillon de vingt patients ayant besoin d'extractions de premières prémolaires maxillaires droite et gauche pour des raisons orthodontiques. Dans l'étude de NG et al. (47), l'échantillon était composé du même nombre de filles et de garçons avec un âge moyen respectif de 16,7 (+/- 1,1 ans) et 16,4 (+/- 1,3 ans), tandis que celui d'ANG KHAW et al. (48) était composé de douze filles et huit garçons, dont l'âge moyen était de 15 ans et 9 mois.

La durée des études variait de 28 à 70 jours. Les deux essais cliniques utilisaient la tomодensitométrie pour évaluer l'OIRR.

Dans toutes les études, les OIRR étaient provoquées par OTM.

Tableau 1 : Caractéristiques générales des études incluses

Auteurs Année Design de l'étude (Référence)	Échantillon étudié		Groupes étudiés (Nombre de sujets) Durée de suivi		Méthode d'évaluation de OIIRR	Type d'appareil et d'OTM	
	Type de sujet	Taille de l'échantillon					Force orthodontique
Fonseca et al. 2012 Étude expérimentale (36)	Rat	25 mâles	GE / Euthanasiés à J7 : • Grp A : OTM (n = 7) • Grp B : OTM + LLLT (n = 7)	GC / Euthanasiés à J7 : • Grp D : - (n = 5) • Grp E : LLLT (n = 6)	Analyse histologique	MTA Mvt M 16	50 gr
Marquezan et al. 2013 Étude expérimentale (37)	Rat	36 mâles	GE / Euthanasiés à J3 : • Grp A : OTM + LLLT (2 sessions) (n = 6) GE / Euthanasiés à J8 : • Grp B : OTM + LLLT (2 sessions) (n = 6) • Grp C : OTM + LLLT (7 sessions) (n = 6)	GC / Euthanasiés à J1 : • Grp D : - (n = 6) GC / Euthanasiés à J3 : • Grp E : OTM (n = 6) GC / Euthanasiés à J8 : • Grp F : OTM (n = 6)	Analyse histologique	MTA Mvt M 26	50 gr
Seifi et al. 2014 Étude expérimentale (38)	Lapin	16 mâles	GE / Euthanasiés à J48 : • Grp A : OTM vers une alvéole artificiel traitée au DFDBA + LLLT (n = 8)	GC / Euthanasiés à J48 : • Grp B : OTM vers une alvéole artificiel traitée au DFDBA (n = 8)	Analyse histologique	MTA Mvt M 34	NR
Ekizer et al. 2015 Étude expérimentale (39)	Rat	20 mâles	GE / Euthanasiés à J21 : • Grp A : OTM + LLLT (n = 10)	GC / Euthanasiés à J21 : • Grp B : OTM (n = 10)	Analyse histomorpho métrique	MTA Mvt M 26	50 gr
Altan et al. 2015 Étude expérimentale (40)	Rat	30 mâles	GE / Euthanasiés à J11 : • Grp A : OTM + LLLT (n = 7) GE / Euthanasiés à J24 : • Grp B : OTM + phase de guérison + LLLT (n = 8)*	GC / Euthanasiés à J11: • Grp C : OTM (n = 7) GC / Euthanasiés à J24 : • Grp D : OTM + phase de guérison (n = 8) GC : • Grp E : - (n = 7)**	Analyses histologique et immunohisto chimique	MTA Mvt M 26	50 gr
Vasconcelos et al. 2016 Étude expérimentale (41)	Rat	54 mâles	GE / Euthanasiés à J7 : • Grp A : LLLT LD (n = 4) • Grp B : LLLT HD (n = 4) • Grp C : LLLT LD + OTM (n = 5) • Grp D : LLLT HD + OTM (n = 5) GE / Euthanasiés à J10 : • Grp E : LLLT LD (n = 4) • Grp F : LLLT HD (n = 4) • Grp G : LLLT LD + OTM (n = 5) • Grp H : LLLT HD + OTM (n = 5)	GC / Euthanasiés à J7 : • Grp I : - (n = 4) • Grp J : OTM (n = 5) GC / Euthanasiés à J10 : • Grp K : - (n = 4) • Grp L : OTM (n = 5)	Analyse histomorpho métrique	MTA Mvt M 26	25 gr
Suzuki et al. 2016 Étude expérimentale (42)	Rat	68 mâles	GE / Euthanasiés à J3, J6 ou J9 : (Côté gauche) • Grp A, B, C : OTM + LLLT (n = 8, n = 8, n = 8) GE / Euthanasiés à J14 ou J21 : (Côté gauche) • Grp D, E : OTM + LLLT (n = 10, n = 10)	GC / Euthanasiés à J3, J6 ou J9 : (Côté gauche) • Grp F, G, H : OTM (n = 8, n = 8, n = 8) (Côté droit) • Grp I : - (n = 48) GC / Euthanasiés à J14 ou J21 : (Côté droit) • Grp J, K : OTM (n = 10, n = 10) (Côté droit) • Grp L : - (n=10) ***	Micro-CT, analyses immunohisto chimique, histomorpho métrique, histologique et par microscopie électronique à balayage	MTA Mvt M 26	50 gr

Auteurs Année Design de l'étude (Référence)	Échantillon étudié		Groupes étudiés (Nombre de sujets) Durée de suivi		Méthode d'évaluation de OIIRR	Type d'appareil et d'OTM	
	Type de sujet	Taille de l'échantillon					Force orthodontique
Higashi et al. 2017 Étude expérimentale (43)	Rat	48 mâles	GE / Euthanasiés à J7 : • Grp A : OTM + LLLT le 1 ^{er} jour (n = 8) • Grp B : OTM + LLLT le 1 ^{er} et le 2 ^{ème} jour (n = 8) • Grp C : OTM + LLLT le 1 ^{er} , le 2 ^{ème} et le 3 ^{ème} jour (n = 8)	GC / Euthanasiés à J7 : • Grp D : - (n = 8) • Grp E : LLLT le 1 ^{er} , le 2 ^{ème} et le 3 ^{ème} jour (n = 8) • Grp F : OTM (n = 8)	Micro-CT	MTA Mvt M 16	50 gr
Suzuki et al. 2018 Étude expérimentale (44)	Rat	30 mâles	GE / Euthanasiés à J14 ou J21 : (Côté gauche) • Grp A : OTM + CP (n = 5, n = 5) • Grp B : OTM + LLLT (n = 5, n = 5) • Grp C : OTM + CP + LLLT (n = 5, n = 5)	GC / Euthanasiés à J14 ou J21 : (Côté droit) • Grp D : OTM (n = 10, n = 10) • Grp E : - (n = 5, n = 5)	Micro-CT et analyse histologique	MTA Mvt M 16 et 26	50 gr
Friedrichsdorf et al. 2019 Étude expérimentale (45)	Rat	21 mâles	Ge / Euthanasiés à J14 : • Grp A : OTM + LED (n = 7) • Grp B : OTM + LLLT (n = 7)	GC / Euthanasiés à J14 : • Grp C : OTM (n = 7)	Microscopie électronique à balayage	MTA Mvt M 26	25 gr
Melo Conti et al. 2019 Étude expérimentale (46)	Rat	20 mâles	GE / Euthanasiés à J14 : (Un coté) • Groupe A : OTM + phase guérison (n = 10) (Ttt recommandé en cas d'OIIRR) (L'autre coté) • Grp B : OTM + LLLT pendant la phase de guérison (n = 10)	GC / Euthanasiés à J7 : (Un coté) • Grp C : - (n = 10) (L'autre coté) • Grp D : OTM (n = 10)	Analyses histomorphométrique et immunohistochimique	MTA Mvt M 16 et 26	50 gr
Ng et al. 2018 Essai clinique (47)	Homme	20 patients (10 ♂, 10 ♀)	GE / PM extraites à J28 : • Grp A : OTM + LLLT en mode continu (n = 10 PM) • Grp B : OTM + LLLT en mode pulsé (n = 10 PM)	GC / PM extraites à J28 : • Grp C : OTM + LASER placebo (n = 20 PM) ****	Micro-CT	MTA Mvt VV 14 et 24	150 gr
Ang Khaw et al. 2018 Essai clinique (48)	Homme	20 patients (8 ♂, 12 ♀)	GE / PM extraites après 4 sem d'OTM + 6 sem de contention : • Grp A : LLLT (n = 20 PM)	GC / PM extraites après 4 sem d'OTM + 6 sem de contention : • Grp B : LASER placebo (n = 20 PM) ****	Micro-CT	MTA Mvt VV 14 et 24 + Contention	150 gr

CP : Corticotomie
DFDBA : Matériau d'allogreffe osseuse
GC : Groupe contrôle
GE : Groupe expérimental
Gr : Gramme
Grp : Groupe
HD : Forte dose
J : Jour
LD : Faible dose
LLLT : Thérapie au laser de faible intensité
M : Mésial
MTA : Appareil multi-attache
Mvt : Mouvement

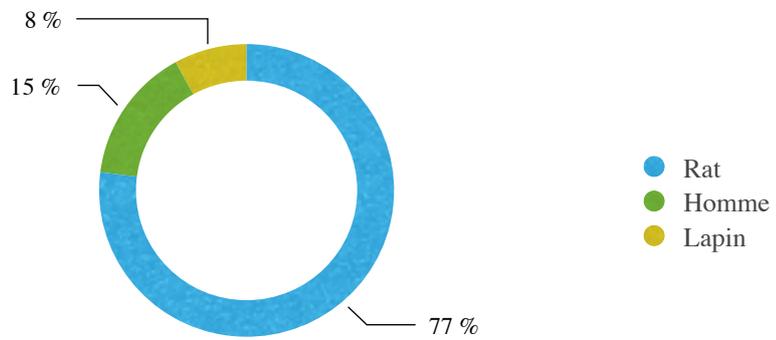
OIIRR : Résorption radiculaire inflammatoire induite par l'orthodontie
OTM : Mouvement dentaire orthodontique
PM : Prémolaire
Sem : Semaine
VV : Version vestibulaire
14 : Première prémolaire maxillaire droite
16 : Première molaire maxillaire droite
24 : Première prémolaire maxillaire gauche
26 : Première prémolaire maxillaire gauche
34 : Première prémolaire mandibulaire gauche
- : Absence d'OTM et de toute thérapeutique telle que la LLLT
♀ : Femme
♂ : Garçon

* LLLT appliquée pendant le mouvement dentaire après application la force orthodontique et durant la phase de guérison.

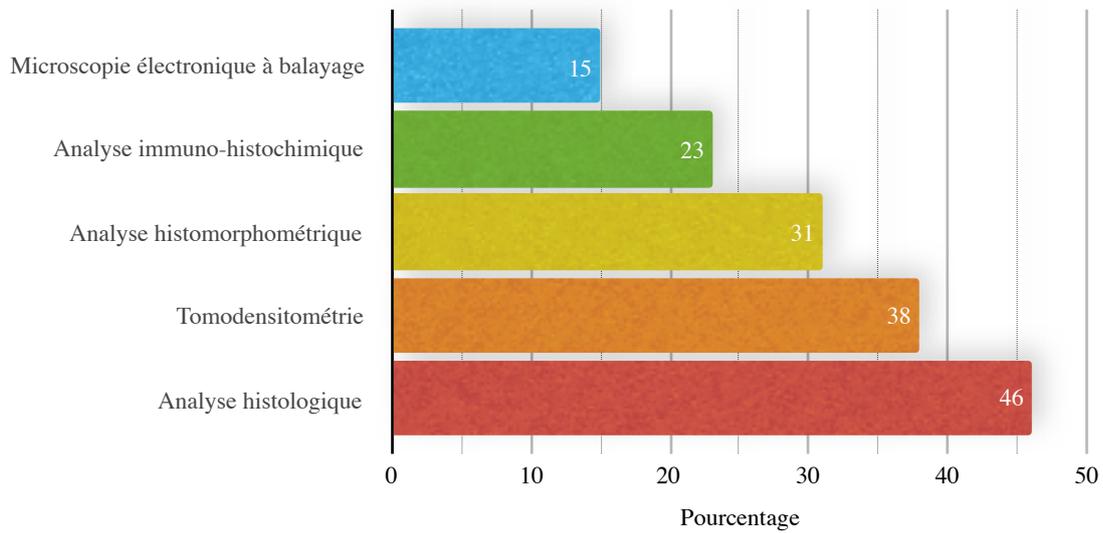
** Les premières molaires droites maxillaires controlatérales de sept rats qui n'ont pas été déplacés ont servi de témoins pour représenter la situation physiologique.

*** Chez 48 animaux, un appareil unilatéral a été placé du côté gauche (24 avec LLLT et 24 sans LLLT) et le côté droit a été utilisé comme contrôle négatif. Chez 20 animaux, un schéma en split-mouth a été utilisé (LLLT du côté gauche uniquement) et les troisièmes molaires supérieures droites ont été utilisées comme témoins négatifs (n = 10).

**** Design en split mouth.



Graphique 1 : Population de l'échantillon



Graphique 2 : Méthode d'évaluation de l'OIIR

2. Caractéristiques relatives à la force orthodontique des études incluses

Dans toutes les études expérimentales (36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46), un ressort hélicoïdal en Nickel-Titane a été utilisé pour induire l'OTM et provoquer l'OIIRR.

La force délivrée par le dispositif était constante et de l'ordre de 25 grammes dans deux des études (41, 45) et de 50 grammes dans les autres (36, 37, 39, 40, 42, 43, 44, 46). Une seule étude n'a pas précisé l'intensité de la force délivrée (38).

Neuf études sur onze ont provoqué la mésialisation des premières molaires maxillaires droite (n = 4) (36, 43, 44, 46) et/ou gauche (n = 7) (37, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46). Seul SEIFI et al. (38) ont déplacé mésialement les premières prémolaires mandibulaires gauches en direction d'une alvéole remplie d'un matériau d'allogreffe composé d'os lyophilisé et déminéralisé.

Dans les deux essais cliniques inclus (47, 48), un appareil auto-ligaturant partiel et un ressort en Béta-Titanium de 0,017 x 0,025 millimètres délivrant une force constante de 150 grammes ont été appliqués afin d'entraîner une version vestibulaire des premières prémolaires maxillaires.

3. Caractéristiques relatives à la thérapie laser de faible intensité des études incluses

Les caractéristiques relatives aux paramètres de la LLLT sont exposées dans le Tableau 2 et illustrées dans les Graphiques 3 et 4.

La majorité des auteurs (n = 11) ont choisi une application de la LLLT durant l'OTM, après application de la force orthodontique. Deux d'entre eux ont toutefois choisi d'appliquer la LLLT durant la phase de guérison des OIIRR (40, 46) et l'un d'entre eux durant la phase de contention (48).

31 % des études ont eu recours à la lumière LED (36, 39, 43, 45) et 77 % à la lumière LASER (37, 38, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48), avec une préférence pour le LASER Gallium-Aluminium-Arsenide qui est le dispositif de LLLT le plus utilisé dans la littérature (n = 8) (37, 38, 40, 41, 42, 44, 46, 47).

Bien que six études n'aient pas précisé le mode d'émission lumineuse auquel elles ont eu recours, il semblerait que le mode « continu » soit préféré au mode « pulsé ». Cependant, NG et al. (47) n'ont mis en évidence aucune différence d'efficacité statistiquement significative entre ces deux modes.

En ce qui concerne la longueur d'onde d'émission, malgré une grande variabilité inter-étude, il semblerait que les longueurs d'onde les plus utilisées soient comprises entre 800 et 850 nm (n = 9) (37, 38, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47).

Pour l'homogénéisation des données, la fluence a été convertie en J/cm² pour toutes les études. Cependant, en raison d'une trop grande hétérogénéité des protocoles des articles inclus, il n'est pas possible de conclure en ce qui concerne la fluence et la puissance de sortie utilisées.

Il semble toutefois important de noter que toutes les études ont eu recours à une fluence inférieure à 100 J/cm², à l'exception de MARQUEZAN et al. (37) qui ont utilisé une fluence de 6000 J/cm².

La fréquence d'application était le plus souvent mono-journalière (n = 7) (36, 37, 38, 39, 43, 45, 47) ou réalisée une fois tous les deux jours (n = 5) (40, 41, 42, 44, 46). Un seul auteur a eu recours à une application hebdomadaire (48).

En revanche, la durée d'irradiation variait de 4,5 secondes à 20 minutes avec une grande variabilité entre les études, il n'est donc pas possible de conclure pour ce paramètre.

De même, le nombre et la localisation des points d'irradiation étaient aussi très différents selon les études, et pouvaient aller de 1 à 8 zones distinctes, se répartissant le plus souvent, lorsqu'il y en avait plusieurs, en vestibulaire et en lingual des dents concernées (37, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48).

Pour finir, cinq études (40, 45, 46, 47, 48) ont signalé que la pointe du dispositif laser était en contact direct avec la muqueuse, tandis que pour quatre autres études (36, 39, 43, 45), la pointe du dispositif était située à distance.

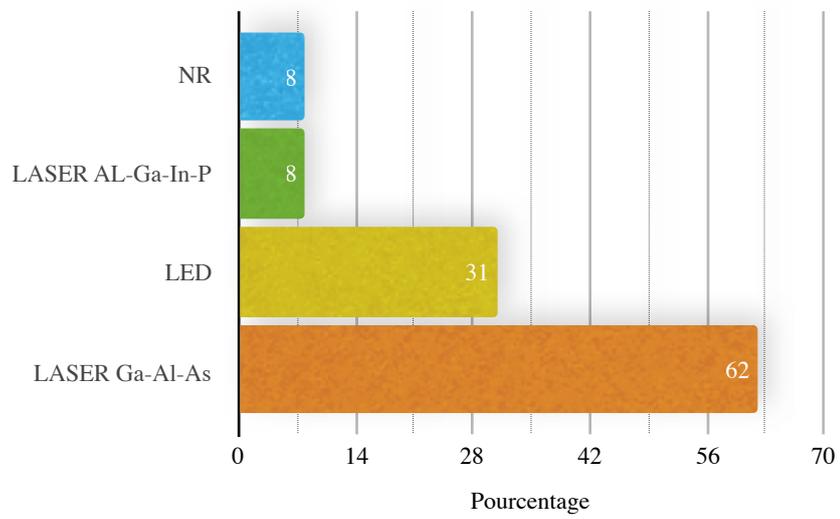
Tableau 2 : Caractéristiques relatives à la LLLT des études incluses

Auteurs Année (Référence)	Type de diode laser	Mode d'émission	Longueur d'onde	Puissance de sortie	Fluence	Moment de l'application	Durée de l'application	Fréquence de l'application	Point d'application (Nombre et localisation)	
Fonseca et al. 2012 (36)	LED	NR	940 nm	9,5 mW	4 J / cm ²	OTM	7 min / application À J2, J3 et J4	1 x / j	1 point À distance (1cm) de 6	
Marquezan et al. 2013 (37)	LASER Ga-Al-As	Continue	830 nm	100 mW	6000 J / cm ²	OTM	3 min / point Grp A et B : 2 sessions Grp C : 7 sessions	1 x / j	3 points M, V et P de 6	
Seifi et al. 2014 (38)	LASER Ga-Al-As	Continue	808 nm	NR	6 J / cm ²	OTM	90 sec / application 2 sessions de 10 j d'application suivis de 14 j de repos	1 x / j	1 point M de 4	
Ekizer et al. 2015 (39)	LED	NR	618 nm	NR	24 J / cm ²	OTM	20 min / application 10 j	1 x / j	1 point À distance (joue) de 6	
Altan et al. 2015 (40)	LASER Ga-Al-As	Continue	820 nm	50 mW	4,8 J / cm ²	Grp A et B : OTM Grp B : Phase de guérison	12 sec Grp A : 11 j Grp B : 24 j	1 x / 2 j	4 points Contact muqueux V et P de 6	
Vasconcelos et al. 2016 (41)	LASER Ga-Al-As	Continue	808 nm	100 mW	LD : 25 J / cm ² HD : 580 J / cm ²	OTM	LD : 7 sec / point Grp A, B, C et D : 7 j HD : 2 min 43 sec / point Grp E, F, G et H : 10 j	1 x / 2 j	LD : 3 points M, V et P de 6 HD : 6 points M, V et P de 6	
Suzuki et al. 2016 (42)	LASER Ga-Al-As	NR	810 nm	100 mW	75 J / cm ²	OTM	15 sec Grp A : 3 j Grp B : 6 j Grp C : 9 j Grp D : 14 j Grp E : 21 j	1 x / 2 j	2 points V et P de 6	
Higashi et al. 2017 (43)	LED	NR	940 nm	NR	4 J / cm ²	OTM	241 secondes Grp A, B et C : J1 Grp B et C : J2 Grp C : J3	1 x / j	1 point À distance (1cm) de 6	
Suzuki et al. 2018 (44)	LASER Ga-Al-As	NR	810 nm	100 mW	75 J / cm ²	OTM	15 sec À J0, J2, J4, J6, J8, J10 et J12	1 x / 2 j	2 points V et P de 6	
Friedrichsdorf et al. 2019 (45)	LED LASER NR	Continue Continue	850 nm 808 nm	30 mW 100 mW	7,2 J / cm ² 70 J / cm ²	OTM	240 sec 5 j 20 sec / point	1 x / j	1 point À distance (joue) de 6 3 points Contact muqueux MV, MP et DP de 6	
Melo Conti et al. 2019 (46)	LASER Ga-Al-As	NR	810 nm	100 mW	75 J / cm ²	Phase de guérison	15 sec De J7 à J14	1 x / 2 j	2 points Contact muqueux V et P de 6	
Ng et al. 2018 (47)	LASER Al-Ga-As	Continue Pulsé	808 nm	180 mW	0,5 à 4 J / cm ²	OTM	9 sec / point À J0, J1, J2, J3, J7, J14 et J21	4,5 sec / point (25 ms on / 25 ms off)	1 x / j	8 points Contact muqueux V et P de 4
Ang Khaw et al. 2018 (48)	LASER Al-Ga-In-P	Continue	660 nm	75 mW	3,6 J / cm ²	Phase de guérison	15 sec / point	1 x / sem	8 points Contact muqueux V et P de 4	

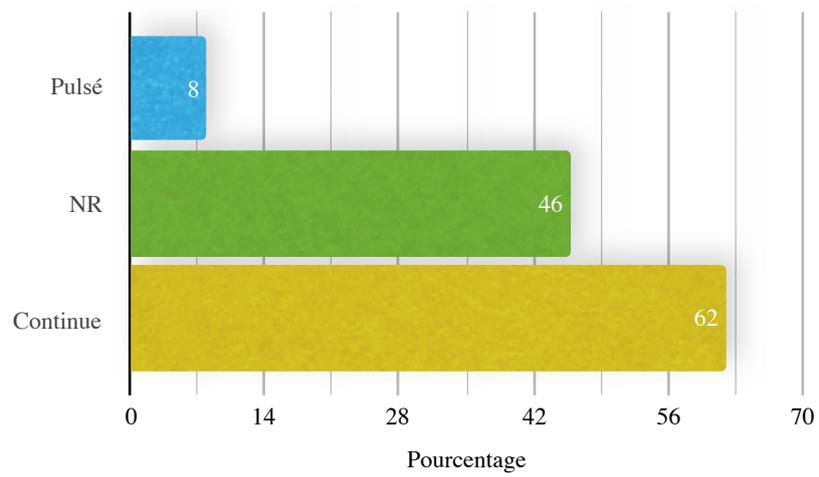
Al-Ga-In-P : Aluminium-Gallium-Indium-Phosphide
D : Distal
Ga-Al-As : Gallium-Aluminium-Arsenide
Grp : groupe
HD : Forte dose
J : Jour

LD : Faible dose
M : Mésial
Min : Minute
OTM : Mouvement dentaire orthodontique
NR : Non renseigné
P : Palatin

Sec : seconde
Sem : semaine
V : Vestibulaire
4 : Première prémolaire
6 : Première molaire



Graphique 3 : Dispositif de LLLT utilisé



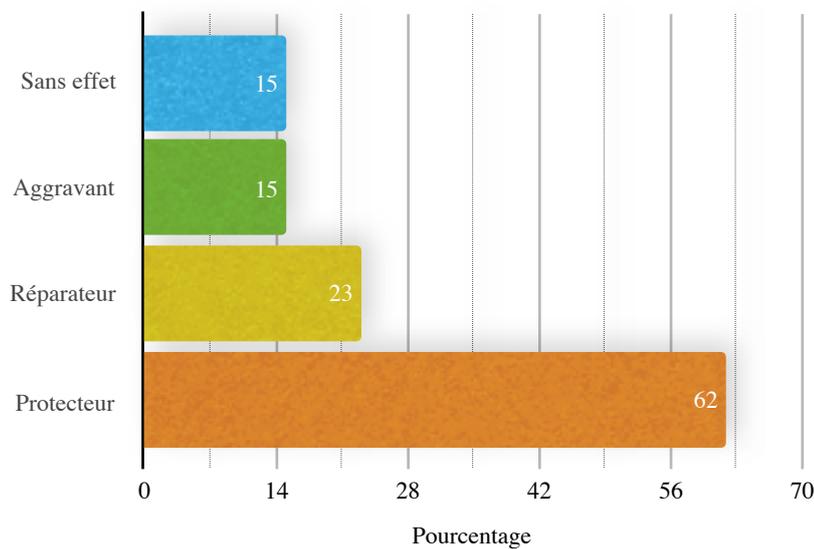
Graphique 4 : Mode d'émission

4. Effets de la LLLT sur l'OIIRR

Les principaux résultats de l'analyse sont exposés dans le Tableau 3 et le Diagramme 5.

Huit études de notre analyse (36, 38, 39, 42, 43, 44, 46, 47) ont montré que l'application de la LLLT, au cours de l'OTM, réduisait de manière significative le taux d'OIIRR. A l'inverse, deux articles ont mis en évidence que la LLLT jouait un rôle aggravant sur les OIIRR (37, 45). Cependant, il est important de préciser que ces deux études présentaient des différences notables de protocole ou de paramètres, ce qui pourrait expliquer leurs résultats contradictoires. En effet, MARQUEZAN et al. (37) ont utilisé une fluence de 6000 J/cm², ce qui est largement supérieur à celle des autres études qui présentaient toutes une fluence inférieure à 100 J/cm², et FRIENDRICHSDORF et al. (45) ont été les seuls à avoir eu recours à la MEB seule pour évaluer les OIIRR.

Pour finir, trois études ont mis en évidence un rôle réparateur de la LLLT (36, 40, 46).



Graphique 5 : Effets de la LLLT sur l'OIIRR

Tableau 3 : Principaux résultats des études incluses

Auteurs Année Design de l'étude (Référence)	Principaux résultats de l'études	Effet sur l'OIIRR
Fonseca et al. 2012 Étude expérimentale (36)	Groupe LLLT : <ul style="list-style-type: none"> ◊ ↑ nombre fibroblastes * et vaisseaux * ◊ ↓ OIIRR *, nombres cellules inflammatoires * et ostéoclastes * 	Préventif Réparateur
Marquezan et al. 2013 Étude expérimentale (37)	Groupe LLLT (8 jours) : ↑ OIIRR *	Aggravant
Seifi et al. 2014 Étude expérimentale (38)	Groupe LLLT : ↓ OIIRR *	Préventif
Ekizer et al. 2015 Étude expérimentale (39)	Groupe LLLT : ↓ OIIRR *	Préventif
Altan et al. 2015 Étude expérimentale (40)	Application LLLT durant OTM : Pas de différence avec ou sans LLLT Application LLLT durant guérison : <ul style="list-style-type: none"> ◊ ↓ OIIRR * et rapport RANKL/OPG ◊ ↑ immuno-réactivité 	Réparateur
Vasconcelos et al. 2016 Étude expérimentale (41)	Groupe LLLT (10 jours) : ↑ OIIRR * en termes d'augmentation de % de surface résorbée	Sans effet avec ces réglages
Suzuki et al. 2016 Étude expérimentale (42)	Groupe LLLT : <ul style="list-style-type: none"> ◊ ↓ OIIRR ◊ Côté en compression <ul style="list-style-type: none"> + ↑ immuno-réactivité RANKL * et cellules TRAP (à J9) * + ↓ volume et densité osseuse* + Élimination plus rapide de la zone hyaline* ◊ Côté en tension <ul style="list-style-type: none"> + ↑ taux OPG * 	Préventif
Higashi et al. 2017 Étude expérimentale (43)	Groupe LLLT (J1, J2 et J3) : ↓ OIIRR * en termes de nombre, diamètre, profondeur et volume	Préventif
Suzuki et al. 2018 Étude expérimentale (44)	Groupe LLLT : ↓ volume OIIRR racine disto-vestibulaire et mésiale * Pas de différence statistiquement significative entre corticotomie + LLLT ou LLLT seule	Préventif
Friedrichsdorf et al. 2019 Étude expérimentale (45)	Groupe LLLT : ↑ OIIRR *	Aggravant
Melo Conti et al. 2019 Étude expérimentale (46)	Groupe LLLT : ↓ OIIRR *	Préventif Réparateur
Ng et al. 2018 Essai clinique (47)	Groupe LLLT : ↓ OIIRR de 23% par rapport au groupe sans LLLT Plus l'OIIRR est importante, plus l'effet bénéfique de la LLLT est marqué Pas de différence statistiquement significative entre LLLT pulsée et continue	Préventif
Ang Khaw et al. 2018 Essai clinique (48)	Aucun résultat statistiquement significatif	Sans effets avec ces réglages

J : Jour
LLL - Thérapie laser de faible intensité
OIIRR : Résorption radiculaire inflammatoire induite par l'orthodontie
OPG : anti-ostéoprotégérine

OTM : Mouvement dentaire orthodontique
RANKL : Activateur des récepteurs du ligand du facteur nucléaire kappa-B
TRAP : Phosphatas acide tartrate-résistante
* : Significatif

IV. DISCUSSION

1. Qualité de la recherche réalisée

1. Période de parution, type et qualité de la littérature rencontrée

Les treize études incluses dans notre analyse ont été publiées entre 2012 et 2019. Notre revue de la littérature se base donc sur des données relativement récentes.

Elle comprenait 85 % d'études expérimentales, 15 % d'essais cliniques contrôlés randomisés et pour 69% d'entre elles aucune analyse de puissance n'a été réalisée pour estimer la taille nécessaire de l'échantillon (36, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46).

Toutefois, il est tout de même possible de dire que nos conclusions présentent un niveau de preuve modéré car les études incluses dans notre revue de la littérature sont reconnues comme étant de bonne qualité sur la base des scores ARRIVE (Animal Research Reporting in Vivo Experiments) (51) et CONSORT (Consolidated Standards Of Reporting Trials) (52) résumés dans le Tableau 4 ci-après.

Tableau 4 : Scores ARRIVE et CONSORT des études incluses

Auteurs Année (Référence)	Score ARRIVE (/20)	Score CONSORT (/25)
Fonseca et al. 2012 (36)	16	
Marquezan et al. 2013 (37)	16	
Seifi et al. 2014 (38)	17	
Ekizer et al. 2015 (39)	18	
Altan et al. 2015 (40)	18	
Vasconcelos et al. 2016 (41)	15	
Suzuki et al. 2016 (42)	18	
Higashi et al. 2017 (43)	16	
Suzuki et al. 2018 (44)	19	
Friedrichsdorf et al. 2019 (45)	16	
Melo Conti et al. 2019 (46)	16	
Ng et al. 2018 (47)		22
Ang Khaw et al. 2018 (48)		24

2. Limites méthodologiques liées à la recherche elle-même

Afin de recenser le maximum d'articles en rapport avec nos objectifs, le choix des termes utilisés pour l'établissement de notre équation de recherche a fait l'objet d'une réflexion particulière. L'absence d'emploi de termes MeSh dans notre équation peut être discutée. Néanmoins, après une recherche préliminaire sommaire, nous avons pu constater que pour une même équation, rédigée d'abord en mots-clés puis en termes MeSh, certains articles initialement éligibles n'avaient pas pu être retrouvés à l'aide de l'équation en terme MeSh, tandis que l'ensemble des articles inclus à partir de la deuxième équation avaient déjà été retrouvés à l'aide de la première. Il en était de même pour le choix de l'utilisation des termes « low laser » au lieu de « low level laser therapy » et de « root resorption » au lieu de « orthodontics root resorption », car leur usage était trop restrictif.

Suite à la création de notre équation de recherche, la sélection des articles et la rédaction des tableaux d'extractions des données ont été minutieusement réalisées par deux opérateurs distincts afin de limiter les biais de sélection, de recueil des données et d'analyse.

3. Limites méthodologiques liées au choix des critères de sélection

Les critères d'inclusion et d'exclusion de notre revue systématique de la littérature ont été soigneusement sélectionnés afin de pouvoir répondre aux objectifs que nous avons fixés.

La LLLT consiste en l'utilisation de lumières LASER ou LED de basses énergies dans les longueurs d'onde du rouge et du proche infrarouge sur des durées importantes d'exposition (24).

Ainsi, contrairement à la revue systématique de MICHELOGIANNAKIS et al. (49) publiée en avril 2019, qui s'est exclusivement intéressée à la lumière LASER, nous avons décidé d'inclure les études réalisées à l'aide de ces deux types de lumières sans distinction.

De même, contrairement à ces auteurs, seules les études ayant pour objectif principal l'étude des effets, en termes de prévention et/ou de réparation, de la LLLT sur l'OIIRR ont été incluses. Ainsi, des études comme celles de KIM et al. et celle de HAN et al. (52, 53), qui ont été incluses dans leur analyse, ne l'ont pas été dans la nôtre car leur objectif principal de recherche ne permettait pas de répondre à notre problématique mais plutôt d'évaluer les effets de la LLLT sur l'OTM.

Comme nous avons pu le constater, l'utilisation de la LLLT sur les OIIRR est un sujet relativement récent et encore peu étudié, la littérature disponible reste donc encore assez pauvre et manque notamment d'essais cliniques réalisés sur l'Homme. Pour cette raison, malgré la difficulté d'extrapolation des résultats chez l'Homme, nous avons donc choisi d'inclure les études expérimentales exécutées sur des animaux. Elles représentaient 85 % des articles inclus dans notre revue.

Pour ce qui est de la méthode d'évaluation de l'OIIRR, il est actuellement reconnu que la micro-CT est une méthode performante qualitativement et quantitativement. Bien qu'il ait été rapporté que la microscopie électronique à balayage fournit une résolution et des détails impossibles à atteindre avec des modèles histologiques reconstruits à partir de sections en série (54), nous avons tout de même choisi d'intégrer également les études utilisant cette méthode dans notre analyse. En revanche, les études utilisant une méthode d'imagerie bidimensionnelle n'ont pas été incluses car il a été démontré que cette méthode d'évaluation est inadéquate pour l'analyse du processus de résorption radiculaire (54).

Nous avons également décidé de ne pas inclure les articles traitant sur des dents transplantées ou réimplantées car l'idée d'une prévalence différente des OIIRR entre des dents traumatisées et non traumatisées reste encore controversée. En effet, selon ANDREASEN, le risque de résorption radiculaire des dents traumatisées et/ou réimplantées est variable selon le respect per-opératoire, au moment de la réimplantation, et selon l'intégrité du ligament alvéolodentaire (55). Néanmoins plusieurs études ont montré qu'il n'existait aucune différence statistiquement significative sur la prévalence de l'OIIRR entre des patients avec ou sans dents transplantées ou réimplantées (56, 57).

4. Limites liées à la comparabilité des études sélectionnées

L'une des limites supplémentaires de notre revue de la littérature concerne le contenu même des articles inclus, très hétérogènes entre eux.

En effet, le manque de comparabilité des études en termes de population, de type de protocole thérapeutique mis en œuvre et de méthode d'évaluation, rend difficile la comparaison des résultats.

Concernant la population, comme déjà évoqué dans nos résultats, 77% des études ont été réalisées sur des rats, 15% chez l'Homme et 8% sur des lapins. Or, les molaires de rats sont cinquante fois plus petites que les molaires humaines.

Ainsi, afin de s'affranchir de la différence de taille entre les dents animales et humaines et faciliter la comparaison des résultats, certains auteurs, tel que VASCONCELOS et al. (41), ont choisi de quantifier les OIIRR à l'aide d'un pourcentage total de surface radiculaire résorbée plutôt qu'en termes de surface (cm²) ou de volume (cm³).

Cependant, cette différence de taille pose principalement problème en ce qui concerne la force appliquée sur les dents. En effet, il est difficile de fabriquer des systèmes orthodontiques sur des modèles animaux imitant de manière similaire les forces orthodontiques cliniques appliquées à l'Homme. De plus, l'effet d'une force de 20 grammes sur une molaire de rat est comparable à une force de 1 kilogramme sur une molaire humaine (58) alors que les forces utilisées dans le cadre des essais cliniques chez l'Homme étaient de l'ordre de 150 g.

Ainsi il est impossible d'extrapoler chez l'Homme, les résultats obtenus lors d'études expérimentales, à moins de travailler avec des modèles animaux plus avancés comme les chiens ou les singes (39).

Pour ce qui est du protocole thérapeutique, plusieurs points sont à relever.

L'objectif étant d'évaluer les effets de la LLLT sur l'OIIRR, tous les systèmes orthodontiques mis en place avaient pour but d'initier le processus de résorption. Malgré des différences de dispositifs, les forces appliquées étaient relativement similaires au sein des études expérimentales et entre les deux essais cliniques.

En revanche, les paramètres de l'ensemble des LLLT différaient tous les uns des autres, ne nous permettant pas de conclure sur la supériorité d'un protocole en particulier.

Enfin, la méthode d'évaluation de l'OIIRR diffère, elle aussi, entre les études. Or, comme nous l'avons vu précédemment, toutes les méthodes d'évaluation ne sont pas égales vis-à-vis de l'analyse de l'OIIRR. Or, devant l'absence de standardisation des méthodes d'évaluation, les résultats des différentes études analysées peuvent difficilement être recoupés.

En conclusion, devant l'hétérogénéité des protocoles utilisés dans la littérature, peu de conclusions fiables peuvent être tirées sur l'influence réelle de la LLLT sur l'OIIRR. Des études supplémentaires réalisées à l'aide d'un protocole standardisé sont nécessaires afin de permettre la comparaison des résultats.

2. Discussion des principaux résultats obtenus

La LLLT permet le contrôle de la réaction inflammatoire en modulant négativement les cytokines inflammatoires (facteur de nécrose tumorale alpha, interleukine 1, interleukine 6) et les médiateurs inflammatoires (leucotoxines et prostaglandine E2). Ces substances sont impliquées dans le chimiotactisme des cellules inflammatoires, la clastogénèse et la résorption radiculaire au cours de traitement orthodontique (59, 60, 61). La LLLT module également l'expression de l'ostéoprotégérine qui est un inhibiteur des ostéoclastes.

Ainsi, par une diminution du nombre de médiateurs inflammatoires et une augmentation de l'expression de l'ostéoprotégérine, la LLLT améliore le remodelage du tissu osseux et la réparation du tissu parodontal. Elle permet également d'améliorer le processus de cicatrisation des tissus parodontaux, notamment en modifiant l'activité enzymatique des cellules en stimulant la cytochrome C-oxydase par absorption de la lumière au niveau de la chaîne respiratoire de la mitochondrie, permettant ainsi l'augmentation de la production d'ATP et entraînant la libération de facteurs de croissance favorisant la prolifération et la différenciation cellulaire des fibroblastes et des cémentoblastes, la synthèse et le remodelage de la matrice, ainsi que l'angiogénèse (61, 62, 63).

Selon ALTAN et al. (64), la LLLT accélère donc la réponse cellulaire globale des tissus cibles impliqués dans le processus inflammatoire lors de l'OTM, en augmentant l'activité ostéoblastique et ostéoclastique à court terme, tout en réduisant la quantité globale d'ostéoclastes à long terme afin de minimiser la résorption radiculaire.

Cependant, il est important de garder à l'esprit que l'effet de la LLLT sur les tissus vivants dépend, d'une part des caractéristiques de la lumière utilisée, et, d'autre part, du tissu cible.

Concernant les caractéristiques de la LLLT, le premier paramètre à prendre en compte concerne le type de lumière utilisé.

Seule l'étude de FREIDRICHSDORF et al. (45) a comparé l'utilisation des lumières LED et LASER. Il a été démontré que la lumière LASER entraînerait un volume significativement plus important de résorption radiculaire lors de l'OTM que la lumière LED. Par conséquent, la LED entraînerait moins d'effets secondaires (65) et serait donc à privilégier. En effet, la lumière LASER est une lumière cohérente donc plus puissante, ce qui provoquerait plus d'effets iatrogènes que la lumière LED.

Cependant, ces résultats sont à interpréter avec précaution car peu d'études ont conclu à un effet aggravant de la LLLT sur l'OIIR.

Lors du réglage des paramètres de la lumière utilisée, de nombreuses variables peuvent modifier son rendement énergétique et donc son efficacité.

Une des solutions possibles pour augmenter l'intensité appliquée, et donc l'interaction tissulaire de la LLLT, serait d'augmenter la fluence énergétique du laser, c'est-à-dire la quantité d'énergie délivrée par aire de surface. Cependant, cette augmentation ne semble pas être une solution adéquate car MARQUEZAN et al. (37), ayant eu recours à la fluence la plus élevée (6000 J/cm²), ont conclu que la LLLT aggrave l'OIIIR. De même, VASCONCELOS et al. (41), ayant eu recours à la seconde plus grande fluence (580 J/cm²) parmi nos études incluses, ont conclu que la dosimétrie de la LLLT choisie dans leur étude n'était pas recommandée pour protéger ou réparer l'OIIIR.

Nous ne pouvons donc pas établir de recommandation concernant la valeur de fluence, mais nous pouvons émettre l'hypothèse qu'une fluence trop élevée ne permettrait pas la protection ou la réparation de l'OIIIR, ou, pourrait même avoir des effets iatrogènes.

Toutefois, la fluence n'est pas l'unique paramètre à contrôler car il a été démontré que deux traitements ayant utilisé une même fluence mais avec des temps de traitement et des puissances de sortie différents, peuvent parfois avoir des effets opposés (66, 67, 68).

Ainsi, LOPES et al. (68) ont comparé deux LASER ayant une longueur d'onde de 660 nm chacun, sur un modèle de hamster pour le traitement de la mucosite buccale. L'un, avec une puissance de sortie de 32,8 mW était appliqué pendant 16 secondes et l'autre de 92,6 mW était appliqué pendant 9 secondes, assurant ainsi à chacun des deux LASER la libération de 2,78 J d'énergie par exposition. Cependant, malgré une intensité similaire, les résultats montrent une diminution de l'inflammation pour le premier LASER et une augmentation pour le second.

En nous basant sur les résultats de notre analyse et ceux de cette étude, nous pouvons donc émettre l'hypothèse que la durée d'application du LASER prime sur la puissance qu'il délivre.

Une puissance modérée associée à une longue durée d'exposition serait donc plus bénéfique qu'une puissance importante appliquée sur un temps plus court.

De plus, même si l'ensemble des études ont utilisé des dispositifs ayant des longueurs d'onde dans la lumière rouge ou dans le proche infrarouge, il a été démontré qu'une longueur d'onde comprise entre 810 et 830 nm semblait mieux pénétrer dans les tissus (69). Cela pourrait expliquer les résultats obtenus dans l'étude de ANG KHAW et al. (48) qui ont conclu à l'absence d'effet significatif de la LLLT sur l'OIIIR après avoir eu recours à une longueur d'onde de 660 nm.

Concernant la fréquence d'application, il a été démontré que plusieurs applications de LLLT produisaient une réponse plus grande qu'une dose unique (70), ce qui semble être confirmé par l'ensemble des protocoles des études de notre analyse. De même que précédemment, la conclusion de

ANG KHAW et al. (48) selon laquelle la LLLT serait sans effet, pourrait, entre autres, être due au fait que leur fréquence d'application de la thérapeutique était plus faible comparée aux autres études.

Cependant, au-delà des paramètres physiques, le tissu cible de la LLLT et ses caractéristiques vont eux aussi grandement influencer les résultats obtenus. La longueur d'onde absorbée par les constituants tissulaires, la transmission aux couches sous-jacentes, la diffusion dans chaque couche, la qualité du tissu (tissu dur, tissu mou), etc. sont autant de paramètres dont il faut tenir compte au moment du réglage lumineux. En effet, pour avoir une action sur l'OIIRR, la LLLT doit pénétrer et agir sur deux types de tissu : le tissu muco-gingival et l'os alvéolaire.

De plus, en raison de son action biologique sur les cellules, le moment de l'exposition à la LLLT va avoir un impact crucial sur son efficacité. En effet, le respect des timings d'activation cellulaire au cours de l'OTM va permettre d'obtenir une action ciblée au moment le plus adéquat pour permettre la protection ou la réparation de l'OIIRR en fonction des cellules présentes au moment de l'application.

Chez l'Homme, la différenciation des phagocytes a lieu dès la première semaine après l'application de la force orthodontique et les ostéoclastes sont présents au niveau de la surface des racines entre deux et quatre semaines (71). Durant cette période, la photo-bio-modulation accélère l'OTM en activant RANK, RANKL et les cellules clastiques dans le tissu osseux (72), l'activité ostéoclastique se poursuit ensuite jusqu'à la résorption totale du tissu nécrotique. En accélérant l'élimination de la zone hyaline, la LLLT permet donc de diminuer plus rapidement la pression dommageable au niveau de la zone radiculaire et la durée de présence des cellules clastiques, réduisant ainsi le processus d'OIIRR. Une fois la pression diminuée, on observe un déclin progressif des phénomènes inflammatoires et ostéoclastiques, avec une réorganisation osseuse et cémentaire.

Ainsi, l'utilisation de la LLLT durant l'OTM semblerait avoir un effet protecteur indirect en évitant l'apparition de l'OIIRR par réduction des forces opposées aux déplacements par la zone hyaline et le parodonte et la zone hyaline. Pour ce qui est du moment opportun de l'application de la LLLT, dans l'étude de FONSECA et al. (36), la LED a été administrée aux jours 2, 3 et 4 après initiation de l'OTM. Selon certains auteurs, tel que MAVRAGANI et al. (73), ces jours correspondent aux événements cellulaires clés, durant lesquels les cellules de type macrophage et les ostéoclastes commencent à résorber les tissus durs. KREISLER et al. (31) ont, quant à eux, signalé une augmentation des taux de prolifération cellulaire jusqu'à 72 heures après une exposition.

Suite aux conclusions des études de notre analyse, il est possible d'émettre l'hypothèse que lorsque la LLLT est appliquée durant la phase de guérison cémentaire ou en phase de contention, elle aurait plutôt un effet réparateur en stimulant les cellules impliquées dans les phénomènes de

réparation. Cependant, comme le souligne NG et al. (47) il est difficile de savoir si la réduction de la résorption radiculaire du côté irradié est le résultat de l'effet préventif de la LLLT ou si elle est due à son potentiel réparateur.

L'essai clinique de NIMERI et al. (74), publié en 2013, est actuellement l'étude se rapprochant le plus de la réalité clinique par l'application de la LLLT. Dans cette dernière, la LLLT a été appliquée sur l'ensemble des dents des deux arcades, durant une phase de traitement où les déplacements dentaires présentaient un risque non négligeable de provoquer l'apparition d'OIIRR. Le protocole clinique utilisé était un protocole standard utilisé en pratique quotidienne en orthodontie de manière à prévenir l'apparition des effets indésirables. Cependant, malgré l'intérêt majeur de cette étude en conditions cliniques réelles, l'absence de groupe contrôle rend impossible l'évaluation des effets réels, protecteur et/ou réparateur, de la LLLT sur l'OIIRR.

Les articles de SEIFI et al. et de SUZUKI et al. 2018 (38, 44), rapportent, eux aussi, des résultats intéressants, en faveur d'un effet protecteur de la LLLT sur l'OIIRR. Mais, ces résultats doivent être analysés prudemment du fait que l'OTM a été couplé à des thérapeutiques de type corticotomie ou greffe osseuse. En effet, le mécanisme biologique du phénomène d'accélération cellulaire régional après une intervention chirurgicale est susceptible d'influencer les effets de la LLLT sur l'OIIRR (75, 76). De ce fait, il existe un biais de confusion non négligeable entre les effets réels de la LLLT seule ou en action synergique avec un geste osseux préalable.

Pour finir, les études de SUZUKI et al., MÉLO CONTI et al., NG et al. et ANG KHAW et al. (42, 44, 46, 47, 48) ont utilisé un design en split-mouth. Certains auteurs avancent l'hypothèse que les résultats rapportés peuvent être remis en cause en raison d'un potentiel effet systémique de la LLLT (77). Cependant d'autres auteurs suggèrent que même si l'effet systémique est bien présent, il n'est cependant pas suffisant pour avoir une influence significative (72, 78).

V. CONCLUSION

Notre revue systématique avait pour objectif principal de faire le bilan des preuves scientifiques actuellement disponibles concernant les effets protecteurs et/ou réparateurs de la LLLT sur les OIIRR, et pour objectif secondaire de rédiger un protocole clinique de bonnes pratiques de l'utilisation de LLLT sur les OIIRR.

Après analyse des treize articles, nous pouvons conclure que la LLLT a un rôle protecteur vis-à-vis de l'OIIRR lorsqu'elle est appliquée durant l'OTM, et, qu'elle aurait un rôle potentiellement réparateur notamment lorsqu'elle est appliquée lors des phases de guérison cémentaire.

En raison de nombreuses variations des paramètres de réglage de la LLLT dans les différentes études, il est impossible d'établir un protocole complet regroupant les paramètres idéaux d'application de LLLT chez l'Homme. À cet égard, des études supplémentaires standardisées sont nécessaires.

Néanmoins, en se basant sur les résultats de notre analyse, il est possible d'énoncer de grandes lignes guides pour la réalisation d'une LLLT. Ces conseils de mise en œuvre clinique pourront, par la suite, faire l'objet de nouvelles études afin d'être confirmés. Nous retiendrons :

- * Qu'il est préférable d'utiliser une lumière LED plutôt qu'une lumière LASER car il semblerait qu'elle entraîne moins d'effets indésirables ;
- * Qu'une longueur d'onde comprise entre 810 et 830 nm est préconisée pour une meilleure pénétration ;
- * Qu'une puissance de sortie modérée d'environ 100 mW peut être envisagée sans risque iatrogène ;
- * Que la fluence ne doit pas être excessive. Nous conseillons une fluence ne dépassant pas 75 J/cm² ;
- * Qu'une durée d'exposition prolongée de plusieurs secondes est suggérée, mais qu'en raison de la diversité des valeurs dans les études nous n'avons pu dégager de valeur précise de recommandation ;
- * Qu'une fréquence d'application d'une fois par jour, ou, d'une fois tous les deux à trois jours est adaptée au phénomène cellulaire ;

* Que le moment de l'application est déterminant selon l'effet recherché. Si l'effet protecteur est recherché, l'application de la LLLT sera recommandée durant les phénomènes cellulaires clés lors de l'OTM de l'espèce irradié. Si l'effet réparateur est plutôt recherché, la LLLT devra être plutôt administrée durant la phase de guérison cémentaire lorsque la force orthodontique diminue ou lors des premiers temps de la phase de contention où les phénomènes cellulaires de régénération sont actifs.

Pour conclure, la LLLT est une thérapeutique prometteuse en termes de protection et de réparation de l'OIRR. Une meilleure connaissance des phénomènes cellulaires de l'OIRR chez l'Homme, de la LLLT et de son paramétrage permettrait d'optimiser l'efficacité de cette thérapeutique et son application clinique quotidienne sur l'Homme afin d'enrayer ce phénomène tant redouté par chaque praticien.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- (1) Le Larousse médical, 2012.
- (2) Brezniak, Naphtali, et Atalia Wasserstein. « Orthodontically Induced Inflammatory Root Resorption. Part I: The Basic Science Aspects ». *Angle Orthodontist* 72, n° 2 (2002): 5.
- (3) Bacon, William, Pierre Canal, et Philippe Amat. « Résorptions radiculaires apicales externes et orthodontie. Un entretien avec W. Bacon et P. Canal ». *L'Orthodontie Française* 89, n° 4 (1 décembre 2018): 327-42.
- (4) Ba, K. Diop, V. Samadet, L. Delsol, P. Canal, L. Frapier, M. Chouvin, et W. Bacon. « Résorption en orthodontie ». [//www.em-premium.com/data/traites/s7/23-64667/](http://www.em-premium.com/data/traites/s7/23-64667/), 20 novembre 2013.
- (5) Harry, M. R., et M. R. Sims. « Root Resorption in Bicuspid Intrusion. A Scanning Electron Microscope Study ». *The Angle Orthodontist* 52, n° 3 (juillet 1982): 235-58.
- (6) Sameshima, G. T., et P. M. Sinclair. « Predicting and Preventing Root Resorption: Part I. Diagnostic Factors ». *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics* 119, n° 5 (mai 2001): 505-10.
- (7) Brin, Ilana, J. F. Camilla Tulloch, Lorne Koroluk, et Ceib Philips. « External Apical Root Resorption in Class II Malocclusion: A Retrospective Review of 1- versus 2-Phase Treatment ». *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics* 124, n° 2 (août 2003): 151-56.
- (8) Kook, Yoon-Ah, Sohee Park, et Glenn T. Sameshima. « Peg-Shaped and Small Lateral Incisors Not at Higher Risk for Root Resorption ». *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics* 123, n° 3 (mars 2003): 253-58.
- (9) Newman, W. G. « Possible Etiologic Factors in External Root Resorption ». *American Journal of Orthodontics* 67, n° 5 (mai 1975): 522-39.
- (10) Mirabella, A. D., et J. Artun. « Prevalence and Severity of Apical Root Resorption of Maxillary Anterior Teeth in Adult Orthodontic Patients ». *European Journal of Orthodontics* 17, n° 2 (avril 1995): 93-99.
- (11) Killiany, D. M. « Root Resorption Caused by Orthodontic Treatment: An Evidence-Based Review of Literature ». *Seminars in Orthodontics* 5, n° 2 (juin 1999): 128-33.
- (12) Weltman, Belinda, Katherine W. L. Vig, Henry W. Fields, Shiva Shanker, et Eloise E. Kaizar. « Root Resorption Associated with Orthodontic Tooth Movement: A Systematic Review ». *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics* 137, n° 4 (avril 2010): 462-76; discussion 12A.

- (13) Samadet, V., M. Chouvin, W. Bacon, et P. Canal. « Les résorptions radiculaires: facteurs de risque et attitude thérapeutique ». *Revue d'Orthopédie Dento-Faciale* 40, n° 4 (1 décembre 2006): 453–56.
- (14) Roscoe, Marina G., Josete B. C. Meira, et Paolo M. Cattaneo. « Association of Orthodontic Force System and Root Resorption: A Systematic Review ». *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics* 147, n° 5 (mai 2015): 610–26.
- (15) Igarashi, K., H. Adachi, H. Mitani, et H. Shinoda. « Inhibitory Effect of the Topical Administration of a Bisphosphonate (Risedronate) on Root Resorption Incident to Orthodontic Tooth Movement in Rats ». *Journal of Dental Research* 75, n° 9 (septembre 1996): 1644–49.
- (16) Adachi, H., K. Igarashi, H. Mitani, et H. Shinoda. « Effects of Topical Administration of a Bisphosphonate (Risedronate) on Orthodontic Tooth Movements in Rats ». *Journal of Dental Research* 73, n° 8 (août 1994): 1478–86.
- (17) Villa, Paula A., Giovanni Oberti, Cesar A. Moncada, Olga Vasseur, Alejandro Jaramillo, Diego Tobón, et Jaime A. Agudelo. « Pulp-Dentine Complex Changes and Root Resorption during Intrusive Orthodontic Tooth Movement in Patients Prescribed Nabumetone ». *Journal of Endodontics* 31, n° 1 (janvier 2005): 61–66.
- (18) Poumpros, E., E. Loberg, et C. Engström. « Thyroid Function and Root Resorption ». *The Angle Orthodontist* 64, n° 5 (1994): 389–93; discussion 394.
- (19) Shirazi, M., A. R. Dehpour, et F. Jafari. « The Effect of Thyroid Hormone on Orthodontic Tooth Movement in Rats ». *The Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 23, n° 3 (1999): 259–64.
- (20) Loberg EL, Engstrom C. « Thyroid administration to reduce root resorption ». *Angle Orthod.* 1994; 64: 395–399.
- (21) Christiansen RL. « Thyroxine administration and its effect on root resorption » [commentary]. *Angle Orthod.* 1994;64:399–400.
- (22) Foo, Matthew, Alan Jones, et M. Ali Darendeliler. « Physical Properties of Root Cementum: Part 9. Effect of Systemic Fluoride Intake on Root Resorption in Rats ». *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics* 131, n° 1 (janvier 2007): 34–43.
- (23) Camacho, Angela Domínguez, et Sergio Andres Velásquez Cujar. « Dental Movement Acceleration: Literature Review by an Alternative Scientific Evidence Method ». *World Journal of Methodology* 4, n° 3 (26 septembre 2014): 151–62.
- (24) « What is LLLT/Photobiomodulation Therapy? - THOR Laser ». <https://www.thorlaser.com/LLLT/>.
- (25) Futura. « Laser ». Futura. <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-laser-1989/>.
- (26) Lodi, Giovanni, Andrea Sardella, Cristina Bez, Federica Demarosi, et Antonio Carrassi. « Systematic Review of Randomized Trials for the Treatment of Oral Leukoplakia ». *Journal of Dental Education* 66, n° 8 (août 2002): 896–902.

- (27) « Le laser ». <https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/physique-chimie/terminale-s/optique/laser.html>.
- (28) Futura. « Led ». Futura. <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-led-6968/>.
- (29) Benichou, Docteur Luc. « La lumière comme traitement », s. d., 15.
- (30) Karu, T. « Laser Biostimulation: A Photobiological Phenomenon ». *Journal of Photochemistry and Photobiology. B, Biology* 3, n° 4 (août 1989): 638–40.
- (31) Kreisler, Matthias, Ann B. Christoffers, Britta Willershausen, et Bernd d'Hoedt. « Effect of Low-Level GaAlAs Laser Irradiation on the Proliferation Rate of Human Periodontal Ligament Fibroblasts: An in Vitro Study ». *Journal of Clinical Periodontology* 30, n° 4 (avril 2003): 353–58.
- (32) Kawasaki, K., et N. Shimizu. « Effects of Low-Energy Laser Irradiation on Bone Remodeling during Experimental Tooth Movement in Rats ». *Lasers in Surgery and Medicine* 26, n° 3 (2000): 282–91.
- (33) Torri, S., et J. B. Weber. « Influence of Low-Level Laser Therapy on the Rate of Orthodontic Movement: A Literature Review. ». *Photomedicine and Laser Surgery* 31, n° 9 (septembre 2013): 411–21.
- (34) Sonesson, Mikael, Emelie De Geer, Jaqueline Subraian, et Sofia Petrán. « Efficacy of Low-Level Laser Therapy in Accelerating Tooth Movement, Preventing Relapse and Managing Acute Pain during Orthodontic Treatment in Humans: A Systematic Review ». *BMC Oral Health* 17, n° 1 (7 juillet 2016): 11.
- (35) Deana, Naira Figueiredo, Carlos Zaror, Paulo Sandoval, et Nilton Alves. « Effectiveness of Low-Level Laser Therapy in Reducing Orthodontic Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis ». *Pain Research & Management* 2017 (2017): 8560652.
- (36) Fonseca, Priscila D'Andrea, Franciele Mendes de Lima, Dayla Thyemi Higashi, Débora Fernanda Volttani Koyama, Dari de Oliveira Toginho Filho, Ivan Frederico Lupiano Dias, et Solange de Paula Ramos. « Effects of Light Emitting Diode (LED) Therapy at 940 Nm on Inflammatory Root Resorption in Rats ». *Lasers in Medical Science* 28, n° 1 (janvier 2013): 49–55.
- (37) Marquezan, Mariana, Ana Maria Bolognese, et Mônica Tirre de Souza Araújo. « Evaluation of Two Protocols for Low-Level Laser Application in Patients Submitted to Orthodontic Treatment ». *Dental Press Journal of Orthodontics* 18, n° 1 (15 février 2013): 33.e1-9.
- (38) Seifi, Massoud, Faezeh Atri, et Mohammad Masoud Yazdani. « Effects of Low-Level Laser Therapy on Orthodontic Tooth Movement and Root Resorption after Artificial Socket Preservation ». *Dental Research Journal* 11, n° 1 (janvier 2014): 61–66.
- (39) Ekizer, Abdullah, Tancan Uysal, Enis Güray, et Derya Akkuş. « Effect of LED-Mediated-Photobiomodulation Therapy on Orthodontic Tooth Movement and Root Resorption in Rats ». *Lasers in Medical Science* 30, n° 2 (février 2015): 779–85.
- (40) Altan, A. Burcu, A. Altug Bicakci, H. Ilhan Mutaf, Mahmut Ozkut, et V. Sevinc Inan. « The Effects of Low-Level Laser Therapy on Orthodontically Induced Root Resorption ». *Lasers in Medical Science* 30, n° 8 (novembre 2015): 2067–76.

- (41) Vasconcelos, Eliziane Cossetin, Jose Fernando Castanha Henriques, Marinês Vieira Silva Sousa, Rodrigo Cardoso de Oliveira, Alberto Consolaro, Arnaldo Pinzan, Fernanda Pinelli Henriques, et Aroline Nemetz Bronfman. « Low-Level Laser Action on Orthodontically Induced Root Resorption: Histological and Histomorphometric Evaluation ». *Journal of Lasers in Medical Sciences* 7, n° 3 (2016): 146–51.
- (42) Suzuki, Selly Sayuri, Aguinaldo Silva Garcez, Hideo Suzuki, Edilson Ervolino, Won Moon, et Martha Simões Ribeiro. « Low-Level Laser Therapy Stimulates Bone Metabolism and Inhibits Root Resorption during Tooth Movement in a Rodent Model ». *Journal of Biophotonics* 9, n° 11–12 (2016): 1222–35.
- (43) Higashi, Dayla Thyeme, Avacir Casanova Andrello, Pedro Marcelo Tondelli, Dari de Oliveira Togninho Filho, et Solange de Paula Ramos. « Three Consecutive Days of Application of LED Therapy Is Necessary to Inhibit Experimentally Induced Root Resorption in Rats: A Microtomographic Study ». *Lasers in Medical Science* 32, n° 1 (janvier 2017): 181–87.
- (44) Suzuki, Selly Sayuri, Aguinaldo Silva Garcez, Patricia Oblitas Reese, Hideo Suzuki, Martha Simões Ribeiro, et Won Moon. « Effects of Corticopuncture (CP) and Low-Level Laser Therapy (LLLT) on the Rate of Tooth Movement and Root Resorption in Rats Using Micro-CT Evaluation ». *Lasers in Medical Science* 33, n° 4 (mai 2018): 811–21.
- (45) Friedrichsdorf, Simone P., Emily Zaniboni, Alyne Simões, Victor E. Arana-Chavez, et Gladys C. Dominguez. « Phototherapy Is Unable to Exert Beneficial Effects on Orthodontic Tooth Movement in Rat Molars ». *The Angle Orthodontist*, 28 mars 2019.
- (46) Melo Conti, Carolina de, Hideo Suzuki, Aguinaldo Silva Garcez, et Selly Sayuri Suzuki. « Effects of Photobiomodulation on Root Resorption Induced by Orthodontic Tooth Movement and RANKL/OPG Expression in Rats ». *Photochemistry and Photobiology*, 9 avril 2019.
- (47) Ng, Doreen, Ambrose K. Chan, Alexandra K. Papadopoulou, Oyku Dalci, Peter Petocz, et Mehmet Ali Darendeliler. « The Effect of Low-Level Laser Therapy on Orthodontically Induced Root Resorption: A Pilot Double Blind Randomized Controlled Trial ». *European Journal of Orthodontics* 40, n° 3 (25 2018): 317–25.
- (48) Ang Khaw, Chun M., Oyku Dalci, Matthew Foley, Peter Petocz, M. Ali Darendeliler, et Alexandra K. Papadopoulou. « Physical Properties of Root Cementum: Part 27. Effect of Low-Level Laser Therapy on the Repair of Orthodontically Induced Inflammatory Root Resorption: A Double-Blind, Split-Mouth, Randomized Controlled Clinical Trial ». *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics* 154, n° 3 (septembre 2018): 326–36.
- (49) Michelogiannakis, Dimitrios, Deema Al-Shammery, Zohaib Akram, P. Emile Rossouw, Fawad Javed, et Georgios E. Romanos. « Influence of Low-Level Laser Therapy on Orthodontically-Induced Inflammatory Root Resorption. A Systematic Review ». *Archives of Oral Biology* 100 (avril 2019): 1–13.
- (50) Kilkeny, Carol, William Browne, Innes C Cuthill, Michael Emerson, et Douglas G Altman. « Animal research: Reporting in vivo experiments: The ARRIVE guidelines ». *British Journal of Pharmacology* 160, n° 7 (août 2010): 1577–79.

- (51) Schulz, Kenneth F, Douglas G Altman, et David Moher. « CONSORT 2010 Statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials ». *The BMJ* 340 (23 mars 2010).
- (52) Kim, Kyung-A., Eun-Kyung Choi, Joo-Young Ohe, Hyo-Won Ahn, et Su-Jung Kim. « Effect of Low-Level Laser Therapy on Orthodontic Tooth Movement into Bone-Grafted Alveolar Defects ». *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics* 148, n° 4 (octobre 2015): 608–17.
- (53) Han, Kwang Heung, Jae Hyun Park, Mohamed Bayome, In-Seong Jeon, Won Lee, et Yoon-Ah Kook. « Effect of Frequent Application of Low-Level Laser Therapy on Corticotomized Tooth Movement in Dogs: A Pilot Study ». *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 72, n° 6 (juin 2014): 1182.e1-12.
- (54) Chan, E. K. M., et M. A. Darendeliler. « Exploring the Third Dimension in Root Resorption ». *Orthodontics & Craniofacial Research* 7, n° 2 (mai 2004): 64–70.
- (55) Andreasen, J. O. « External Root Resorption: Its Implication in Dental Traumatology, Paedodontics, Periodontics, Orthodontics and Endodontics ». *International Endodontic Journal* 18, n° 2 (avril 1985): 109–18.
- (56) Malmgren, O., L. Goldson, C. Hill, A. Orwin, L. Petrini, et M. Lundberg. « Root Resorption after Orthodontic Treatment of Traumatized Teeth ». *American Journal of Orthodontics* 82, n° 6 (décembre 1982): 487–91.
- (57) Brin, Ilana, J. F. Camilla Tulloch, Lorne Koroluk, et Ceib Philips. « External Apical Root Resorption in Class II Malocclusion: A Retrospective Review of 1- versus 2-Phase Treatment ». *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, Its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics* 124, n° 2 (août 2003): 151–56.
- (58) Ren, Y. « The Rat as a Model for Orthodontic Tooth Movement--a Critical Review and a Proposed Solution ». *The European Journal of Orthodontics* 26, n° 5 (1 octobre 2004): 483–90.
- (59) Carvalho, Alexandre S., Marcelo H. Napimoga, Jozaf Coelho-Campos, Vilmar J. Silva-Filho, et Geraldo Thedei. « Photodynamic Therapy Reduces Bone Resorption and Decreases Inflammatory Response in an Experimental Rat Periodontal Disease Model ». *Photomedicine and Laser Surgery* 29, n° 11 (novembre 2011): 735–40.
- (60) Pesevska, Snezana, Marija Nakova, Icko Gjorgoski, Nikola Angelov, Kiro Ivanovski, Salvador Nares, et Sebastiano Andreana. « Effect of laser on TNF-alpha expression in inflamed human gingival tissue ». *Lasers in medical science* 27 (1 mars 2011): 377–81.
- (61) Safavi, Seyed Mohammadreza, Bahram Kazemi, Mostafa Esmaeili, Alireza Fallah, Alireza Modarresi, et Maziar Mir. « Effects of Low-Level He-Ne Laser Irradiation on the Gene Expression of IL-1beta, TNF-Alpha, IFN-Gamma, TGF-Beta, BFGF, and PDGF in Rat's Gingiva ». *Lasers in Medical Science* 23, n° 3 (juillet 2008): 331–35.

- (62) Vinck, Elke M., Barbara J. Cagnie, Maria J. Cornelissen, Heidi A. Declercq, et Dirk C. Cambier. « Increased Fibroblast Proliferation Induced by Light Emitting Diode and Low Power Laser Irradiation ». *Lasers in Medical Science* 18, n° 2 (2003): 95–99.
- (63) Altan, Ayse Burcu, Ali Altug Bicakci, Mustafa Cihat Avunduk, et Hasan Esen. « The Effect of Dosage on the Efficiency of LLLT in New Bone Formation at the Expanded Suture in Rats ». *Lasers in Medical Science* 30, n° 1 (janvier 2015): 255–62.
- (64) Altan, Burcu Ayse, Oral Sokucu, Mahmud M. Ozkut, et Sevinc Inan. « Metrical and Histological Investigation of the Effects of Low-Level Laser Therapy on Orthodontic Tooth Movement ». *Lasers in Medical Science* 27, n° 1 (janvier 2012): 131–40.
- (65) Futura. « Fonctionnement d'une Led: Led de couleur et Led blanche ». Futura. <https://www.futura-sciences.com/tech/dossiers/technologie-led-eclairage-demain-1762/page/2/>.
- (66) Jenkins, Peter A., et James D. Carroll. « How to Report Low-Level Laser Therapy (LLLT)/ Photomedicine Dose and Beam Parameters in Clinical and Laboratory Studies ». *Photomedicine and Laser Surgery* 29, n° 12 (décembre 2011): 785–87.
- (67) Lanzafame, Raymond J., Istvan Stadler, Andrew F. Kurtz, Roger Connelly, Timothy A. Peter, Peter A. Timothy, Philip Brondon, et Donald Olson. « Reciprocity of Exposure Time and Irradiance on Energy Density during Photoradiation on Wound Healing in a Murine Pressure Ulcer Model ». *Lasers in Surgery and Medicine* 39, n° 6 (juillet 2007): 534–42.
- (68) Lopes, Nilza Nelly Fontana, Hélio Plapler, Maria Cristina Chavantes, Rajesh V. Lalla, Elisabeth Mateus Yoshimura, et Maria Teresa Seixas Alves. « Cyclooxygenase-2 and Vascular Endothelial Growth Factor Expression in 5-Fluorouracil-Induced Oral Mucositis in Hamsters: Evaluation of Two Low-Intensity Laser Protocols ». *Supportive Care in Cancer: Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer* 17, n° 11 (novembre 2009): 1409–15.
- (69) Yadav, Anju, et Asheesh Gupta. « Noninvasive Red and Near-Infrared Wavelength-Induced Photobiomodulation: Promoting Impaired Cutaneous Wound Healing ». *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine* 33, n° 1 (janvier 2017): 4–13.
- (70) Ng, G. Y., D. T. Fung, M. C. Leung, et X. Guo. « Comparison of Single and Multiple Applications of GaAlAs Laser on Rat Medial Collateral Ligament Repair. » *Lasers in Surgery and Medicine* 34, n° 3 (2004): 285–89.
- (71) Casa, Mauricio A., Rolf M. Faltin, Kurt Faltin, et Victor E. Arana-Chavez. « Root Resorption on Torqued Human Premolars Shown by Tartrate-Resistant Acid Phosphatase Histochemistry and Transmission Electron Microscopy ». *The Angle Orthodontist* 76, n° 6 (novembre 2006): 1015–21.
- (72) Fujita, S., M. Yamaguchi, T. Utsunomiya, H. Yamamoto, et K. Kasai. « Low-Energy Laser Stimulates Tooth Movement Velocity via Expression of RANK and RANKL ». *Orthodontics & Craniofacial Research* 11, n° 3 (août 2008): 143–55.
- (73) Mavragani, Maria, Ole Christian Amundsen, Nils Jørgen Selliseth, Pongsri Brudvik, et Knut Andreas Selvig. « Early root alterations after orthodontic force application studied by light and scanning electron microscopy. » *European journal of orthodontics* 26, n° 2 (2004): 119–28.

- (74) Nimeri, Ghada, Chung H. Kau, Rachel Corona, et Jeffery Shelly. « The Effect of Photobiomodulation on Root Resorption during Orthodontic Treatment ». *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry* 6 (2014): 1–8.
- (75) Shih M. et Norrdin R. « Regional acceleration of remodeling during healing of bone defects in beagles of various ages ». *Bone* 6 (1985): 377–379.
- (76) Wilcko W. M., Wilcko T., Bouquot J. E., Ferguson D. J. « Rapid orthodontics with alveolar reshaping: two case reports of decrowding ». *Int J Periodontics Restorative Dent* (2001) 21:9–19.
- (77) Rodrigo, Simone Marja, Alexandre Cunha, Daniel Humberto Pozza, Diego Segatto Blaya, João Feliz Moraes, João Batista Blessmann Weber, et Marília Gerhardt de Oliveira. « Analysis of the Systemic Effect of Red and Infrared Laser Therapy on Wound Repair ». *Photomedicine and Laser Surgery* 27, n° 6 (décembre 2009): 929–35.
- (78) Shirazi, Mohsen, Mohammad Sadegh Ahmad Akhouni, Ehsan Javadi, Abbas Kamali, Pouria Motahhari, Mahsa Rashidpour, et Nasim Chiniforush. « The Effects of Diode Laser (660 Nm) on the Rate of Tooth Movements: An Animal Study ». *Lasers in Medical Science* 30, n° 2 (février 2015): 713–18.

	N°
<p style="text-align: center;">Manon CANTO - « Utilisation de la Low Level Laser Therapy dans les cas de résorptions radiculaires inflammatoires induites par l'orthodontie : Une revue systématique de la littérature. » 4tab., 1fig., 5graph., 30 cm. - (Thèse: Chir. Dent. ; Clermont-Ferrand I ; 2019) - N°</p> <hr style="width: 20%; margin: auto;"/> <p>Objectif : L'objectif principal de cette revue systématique était de faire le bilan des preuves scientifiques actuellement disponibles concernant les effets protecteurs et/ou réparateurs de la Low Level Laser Therapy (LLLT) sur les résorptions radiculaires inflammatoires induites par l'orthodontie (OIIRR). Son objectif secondaire était la rédaction d'un protocole clinique de bonnes pratiques pour l'utilisation de la LLLT sur l'OIIRR.</p> <p>Matériel et méthodes : Une recherche numérique a été menée dans les bases de données de Cochrane, PubMed, Scopus, et DOSS. Une présélection a été effectuée selon le titre et le résumé des articles, et après lecture complète, seuls les articles satisfaisant l'ensemble de nos critères de sélection ont été retenus. Une seconde recherche, cette fois-ci manuelle, a été menée dans leur bibliographie. Les articles retenus ont ensuite été analysés selon dix paramètres.</p> <p>Résultats : Treize études, dont onze expérimentales, ont été incluses. 23% des études ont mis en évidence un rôle réparateur de la LLLT tandis que 68% d'entre elles ont montré que l'application de la LLLT, au cours du mouvement dentaire orthodontique (OTM), réduisait de manière significative le taux d'OIIRR. A l'inverse, 15% des études ont mis en évidence un rôle aggravant de la LLLT sur l'OIIRR. De plus, en raison de nombreuses variations des paramètres de réglage de la LLLT dans les différentes études, il est impossible d'établir un protocole regroupant les paramètres idéaux d'application de la LLLT chez l'Homme.</p> <p>Conclusion : La LLLT semble avoir un rôle protecteur vis-à-vis de l'OIIRR lorsqu'elle est appliquée durant l'OTM, et, elle aurait un rôle potentiellement réparateur lorsqu'elle est appliquée lors des phases de guérison cémentaire. Bien que certaines lignes de conduite puissent être tirées de notre analyse, des études supplémentaires sont nécessaires pour pouvoir établir des recommandations de bonnes pratiques pour l'utilisation de la LLLT dans le cadre de l'OIIRR.</p>	
RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Revue de littérature	
MOTS CLES : Thérapie laser de faible intensité, résorption radiculaire inflammatoire induite par l'orthodontie	
MOTS CLES ANGLAIS : Low level laser therapy, orthodontically induced inflammatory root resorption	
<p>JURY :</p> <p>Président : M. NICOLAS Emmanuel, Professeur des Universités - Praticien Hospitalier</p> <p>Asseseurs : M. DEVOIZE Laurent, Professeur des Universités - Praticien Hospitalier M. DECERLE Nicolas, Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier Mme SOULIER-PEIGUE Delphine, Praticien Hospitalier Mme BAUER Cynthia, Assistante Hospitalo-Universitaire</p>	