

**UNIVERSITE DE LILLE**

**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

Année de soutenance : 2019

N°:

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

Présentée et soutenue publiquement le 5 SEPTEMBRE 2019

Par Margot LAMACHE

Née le 28 JANVIER 1993 à Dieppe, France

THERAPIE PAR PHOTOBIOMODULATION (LOW LEVEL LASER THERAY)  
EN ODONTOLOGIE

**JURY**

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Asseseurs : Monsieur le Docteur Grégoire MAYER

Monsieur le Docteur François BOSCHIN

Monsieur le Docteur Jean-Baptiste CHAMPAGNE

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directeur Général des Services de l'Université	:	P-M. ROBERT
Doyen	:	Pr. E. DEVEAUX
Vice-Doyens	:	Dr. C. DELFOSSE, Dr. L. NAWROCKI et Pr. G. PENEL
Responsable des Services	:	S. NEDELEC
Responsable de la Scolarité	:	M. DROPSIT

## PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.

### PROFESSEURS DES UNIVERSITES

P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
E. DELCOURT-DEBRUYNE	Professeur Emérite Parodontologie
<b>E. DEVEAUX</b>	Dentisterie Restauratrice Endodontie <b>Doyen de la Faculté</b>
<b>G. PENEL</b>	Responsable du Département de <b>Biologie Orale</b>

## **MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES**

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

### ***Réglementation de présentation du mémoire de Thèse***

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

# Remerciements

Aux membres du jury...

## **Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX**

**Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD**

*Section de réhabilitation orale*

*Département de dentisterie restauratrice et endodontie*

Docteur en chirurgie dentaire

Docteur en sciences odontologiques

Docteur en odontologie de l'Université de Lille 2

Habilité à diriger des recherches

Membre associé national de l'Académie nationale de chirurgie dentaire

Personne compétente en radioprotection

Ancien président de la Société française d'endodontie

Chevalier dans l'ordre des palmes académiques.

*Vous me faites l'honneur de présider ce jury et je vous en remercie. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon profond respect pour votre rigueur, votre savoir et la qualité de votre enseignement.*

## **Monsieur le Docteur Grégoire MAYER**

**Maître de conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD**

*Section de réhabilitation orale*

*Département de Prothèses*

Docteur en chirurgie dentaire

Docteur en odontologie de l'Université de Lille 2

Maîtrise des sciences biologiques et médicales

Certificat d'études spécialisées de prothèse amovible totale

Diplôme d'études approfondies génies biologique et médical – option biomatériaux

Médaille de bronze de la défense nationale (Agrafe « services de santé »).

*Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury. Je vous remercie également de la qualité et de la rigueur de votre enseignement théorique ainsi que clinique. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma gratitude.*

## **Monsieur le Docteur François BOSCHIN**

**Maître de conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD**

*Section de chirurgie orale, parodontologie, biologie orale*

*Département Parodontologie*

Docteur en chirurgie dentaire

Doctorat de l'Université de Lille 2 (mention odontologie)

D.E.A de génie biologiques et médicales

C.E.S. de technologie des matériaux utilisés en art dentaire

C.E.S. de parodontologie

Responsable du département de parodontologie.

*Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury. Je tiens à vous remercier pour votre disponibilité, votre gentillesse, ainsi que pour votre sens pédagogique. Je vous prie d'accepter ma gratitude la plus sincère pour ces années d'enseignements.*



## **Monsieur le Docteur Jean-Baptiste CHAMPAGNE**

**Chargé d'enseignement, praticien hospitalier**

*Section de chirurgie orale, parodontologie, biologie orale*

*Département chirurgie orale*

Docteur en chirurgie dentaire

Maitrise des sciences biologiques et médicales

C.E.S. d'odontologie chirurgicale

Ancien interne des hôpitaux de Lille

*Vous m'avez fait l'honneur d'accepter de diriger ma thèse et je vous en remercie. J'ai apprécié nos échanges au cours des vacances d'implantologie, votre pédagogie et votre savoir m'ont beaucoup apportés. Je suis reconnaissante également de l'intérêt que vous avez eu pour mon travail. Soyez assuré de mon profond respect et recevez mes remerciements les plus sincères.*

A ma famille, à mes amis...



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>Principes physiques et biologiques</b>	<b>15</b>
2.1	Historique	15
2.2	Bases physiques	16
2.2.1	Notions physiques fondamentales	16
2.2.1.1	Rappels sur la lumière	16
2.2.1.2	Le laser	17
2.2.2	Principe de fonctionnement	17
2.2.2.1	Rappel sur l'atome de Bohr	17
2.2.2.2	Absorption et émission stimulée	18
2.2.2.3	Inversion de population	18
2.2.2.4	Anatomie du dispositif	19
2.3	Effets biologiques	20
2.3.1	Mécanisme cellulaire	20
2.3.1.1	Rappel sur la chaîne respiratoire dans les mitochondries	20
2.3.1.2	Photobiologie et photobiostimulation	20
2.3.1.3	Réponse primaire : cytochrome c oxydase	21
2.3.1.4	Réponse secondaire : molécules de signalisation	22
2.3.1.4.1	ATP : adénosine triphosphate	22
2.3.1.4.2	Oxyde nitrique	23
2.3.1.4.3	DRO (dérivés réactifs de l'oxygène)	23
2.3.1.4.4	AMP cyclique	23
2.3.1.5	Réponse tertiaire : facteurs de transcription	23
2.3.1.5.1	Facteur nucléaire Kappa B	23
2.3.1.5.2	HIF facteur inducteur de l'hypoxie	23
2.3.1.6	Réponse quaternaire : transcription des gènes et molécules effectives	24
2.4	Paramètres spécifiques au LLLT	24
2.4.1	Paramètres du faisceau	24
2.4.1.1	Longueur d'onde	24
2.4.1.2	Puissance et irradiance	25
2.4.1.3	Surface d'irradiation	26
2.4.1.4	Paramètres d'impulsion	26
2.4.1.5	Position anatomique	27
2.4.2	Paramètres de la dose	27
2.4.2.1	L'énergie	27
2.4.2.2	La fluence	27
2.4.2.3	Le temps	28
2.4.3	Réponse biphasique	29
2.4.4	Laser ou LED ?	30
<b>3</b>	<b>Indications</b>	<b>31</b>
3.1	Tissus mous	31
3.1.1	Mucite	31
3.1.2	Stomatite aphteuse récidivante	32
3.1.3	Lésions herpétiques	33
3.1.4	Lichen plan	34
3.1.5	Parodontite	35

3.1.6	Endodontie .....	36
3.1.7	Lésions nerveuses .....	38
3.1.8	Hyperhémie pulpaire .....	39
3.2	Tissus durs .....	39
3.2.1	Traitement orthodontique .....	39
3.2.2	Hypersensibilité dentinaire .....	41
3.2.3	Articulation temporo-mandibulaire .....	43
3.2.4	Implants.....	44
3.3	Autres indications .....	45
3.3.1	Réflexe nauséeux .....	45
3.3.2	Xérostomie .....	46
<b>4</b>	<b>Contre-indications et sécurité .....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>Exemple de laser LLLT : ATP 38 .....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>50</b>
	<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>51</b>
	<b>Tables des illustrations.....</b>	<b>56</b>

# 1 Introduction

La thérapie par photobiomodulation ou « low level laser therapy » est une technique médicale utilisant un laser de basse intensité.

Le « low level laser therapy » (LLLT), appelé aussi « cold laser ou « soft laser », est le terme signifiant « thérapie par laser de basse énergie ». Actuellement, le terme LLLT est le plus utilisé dans la littérature mais sera progressivement remplacé par photobiomodulation.

Depuis sa découverte il y a maintenant 50 ans, cette technologie a suscité l'attention de la communauté scientifique pour ses pouvoirs bio-stimulants, anti-inflammatoires, analgésiants et cicatrisants. A l'inverse de la plupart des lasers utilisés dans le domaine médical, LLLT utilise un laser non thermique, non ablatif, délivrant des doses faibles permettant de stimuler la production d'énergie sous forme d'ATP.

Son utilisation aujourd'hui touche de nombreux domaines, tel l'oncologie, la dermatologie ou encore la médecine du sport. Il a fait ses preuves dans de nombreuses pathologies comme l'alopecie en stimulant la repousse des cheveux, ou dans les maladies inflammatoires musculaires. La multiplication des articles et études ne font qu'accroître son champ d'application, lui permettant ainsi aujourd'hui d'avoir sa place dans la pratique du chirurgien-dentiste.

Après des rappels sur le fonctionnement physique commun à tous les lasers, le mécanisme cellulaire particulier de LLLT sera expliqué. Les indications et contre-indications actuelles proposées par la littérature seront ensuite exposées.

## 2 Principes physiques et biologiques

### 2.1 Historique

Le premier laser fut conçu en 1960 dans un laboratoire de Malibu, en Californie, par Théodore Maiman. Il réalisa le premier oscillateur à rubis, ouvrant ainsi la voie de l'utilisation du laser en médecine.

Seulement quelques années plus tard après la découverte du laser, en 1967, Dr Endre Mester, de l'Université médicale de Semmelweis à Budapest, en Hongrie, fit la découverte fortuite du pouvoir biostimulant du laser de basse intensité. Il tentait de répéter une expérience, menée auparavant par Paul McGuff, qui visait à détruire des cellules tumorales implantées sous la peau de rats. Cependant, le laser au rubis fabriqué sur mesure par Mester ne possédait qu'une très petite fraction de la puissance du laser de McGuff. En conséquence, les cellules tumorales ne furent pas détruites mais Mester constata que les incisions chirurgicales faites pour l'implantation des tumeurs cicatrisèrent plus vite.

Cette observation le poussa à de nombreuses expériences, parmi lesquelles il étudia deux groupes de souris dont les poils avaient été rasés, l'un témoin, l'autre traité par laser à rubis de faible puissance. Il observa chez le groupe traité par laser que les poils repoussèrent plus vite.

Ainsi, il découvrit le principe de la « photobiostimulation », fondement des applications du laser thérapeutique, et Mester devint ainsi aujourd'hui reconnu comme le pionnier de la photobiostimulation.

Inspirés par sa découverte, de nombreux cliniciens ont commencé à appliquer la LLLT en clinique, en particulier en France et en Russie, avant de se répandre au Japon, en Corée et d'autres pays asiatiques au début des années 1980 [38].

Cinquante ans plus tard, des milliers d'articles ont été publiés, sur la LLLT et son mécanisme d'action, plus de 300 essais cliniques contrôlés contre placebo en double aveugle randomisés sont dénombrés [17]. Malheureusement, les variations dans la conception des études ont entraîné une augmentation du nombre d'essais négatifs publiés et une certaine controverse, en dépit du nombre impressionnant de résultats cliniques positifs également obtenus. En LLLT, la question n'est plus de savoir si la lumière a des effets biologiques, mais plutôt comment l'énergie des lasers thérapeutiques et des LED fonctionne au niveau de la cellule et de l'organisme, et quels sont les paramètres de lumière optimaux pour les différentes utilisations de ces

sources de lumière. Il a été constaté qu'il existe une dose optimale de lumière pour toute application particulière et que des doses inférieures à cette valeur optimale, ou plus importantes encore, supérieures à la valeur optimale auront un résultat thérapeutique diminué, ou un résultat négatif, pour des doses de lumière élevées [31].

Plusieurs sociétés savantes et professionnelles se consacrent désormais entièrement à la photobiomodulation : Association mondiale de la thérapie au laser (WALT); Association nord-américaine de photobiomodulation (NAALT) [38].

## **2.2 Bases physiques**

### **2.2.1 Notions physiques fondamentales**

#### **2.2.1.1 Rappels sur la lumière**

La lumière est une onde électromagnétique : c'est la propagation d'un champ électrique et d'un champ magnétique, aussi bien dans le vide que dans la matière, contrairement aux ondes mécaniques ou acoustiques qui ne voyagent pas dans le vide.

La lumière visible, dite « blanche », celle que nos yeux perçoivent, est en réalité composée d'une multitude de différentes lumières dont les longueurs d'ondes sont comprises entre le violet (380nm) et le rouge (780nm), (Figure 1).



## Les spectres d'émission des principaux lasers

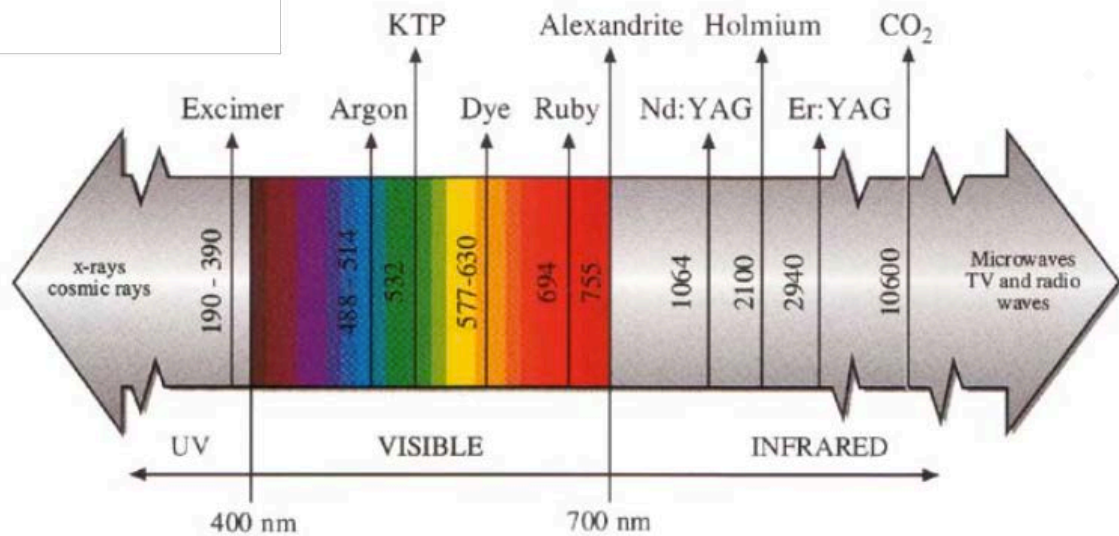


Figure 1 : Les spectres d'émission des principaux lasers, extrait de l'article de Frédéric Gaultier [88].

### 2.2.1.2 Le laser

Le laser est l'acronyme de « Light amplification by stimulated emission of radiation ». Il est communément défini comme étant un dispositif qui amplifie la lumière et la rassemble en un étroit faisceau, dit cohérent, où ondes et photons associés se propagent en phase, au lieu d'être arbitrairement distribués.

La lumière laser se différencie d'une lumière ordinaire par 3 caractéristiques [66][22] :

- monochromatique : les photons ont la même longueur d'onde,
- propagation unidirectionnelle : les photons sont émis dans la direction,
- cohérence spatiale et temporelle : les photons sont dans la même phase.

### 2.2.2 Principe de fonctionnement

#### 2.2.2.1 Rappel sur l'atome de Bohr

L'atome est composé d'un noyau central et d'électrons qui gravitent autour. Les électrons sont répartis sur des niveaux d'énergies ou « couches » caractérisées par un nombre quantique [66]. Plus les électrons sont proches du noyau, plus ils ont une énergie faible.

### 2.2.2.2 Absorption et émission stimulée

Le fonctionnement d'un laser repose sur deux types d'interactions atome-rayonnement, les « réactions photoniques » : l'absorption et l'émission stimulée [66].

- Lors de l'absorption, l'atome absorbe un photon et un électron passe alors à un niveau d'énergie supérieur. L'atome qui était stable devient excité (Figure 2).

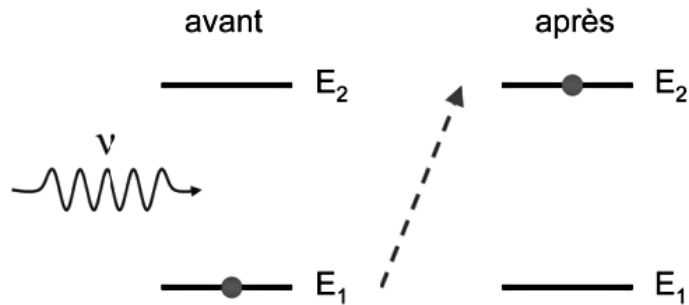


Figure 2 : Schéma de l'absorption [76].

- Lors de l'émission stimulée, l'atome est déjà dans un état dit « excité ». Si on envoie alors un photon sur cet atome, il se désexcite en émettant un autre photon. On obtient deux photons (incident et émis) ayant les mêmes caractéristiques (fréquence, direction, phase), (Figure3).

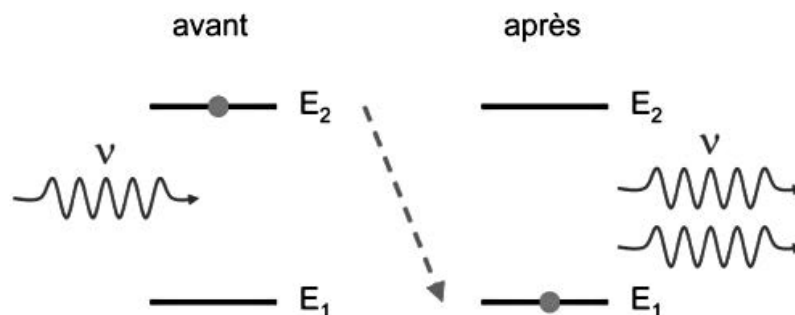


Figure 3 : Schéma de l'émission stimulée [76].

### 2.2.2.3 Inversion de population

Pour obtenir le phénomène d'émission stimulée, il est nécessaire d'avoir un plus grand nombre d'atomes dans un haut niveau d'énergie, c'est à dire « excité », qu'à l'état fondamental de basse énergie : c'est ce que l'on appelle l'inversion de

population. Dans le cas où il y aurait plus d'atomes à leur état fondamental qu'excité, l'absorption l'emporterait sur l'émission stimulée. Il faut donc sortir le système de son équilibre thermodynamique, en apportant de l'énergie aux atomes via un système de pompage [71].

#### 2.2.2.4 Anatomie du dispositif

Un laser est composé de trois organes principaux [71][66] (Figure 4) :

- **une cavité optique** contenant un milieu amplificateur, composé d'atomes que l'on souhaite exciter. Ce milieu actif peut être solide, liquide ou gazeux.
- **une source de pompage** qui permet d'exciter les atomes et donc d'assurer l'inversion de population. C'est une source d'énergie extérieure qui peut être d'origine électrique, chimique ou optique.
- **deux miroirs** qui se font face.

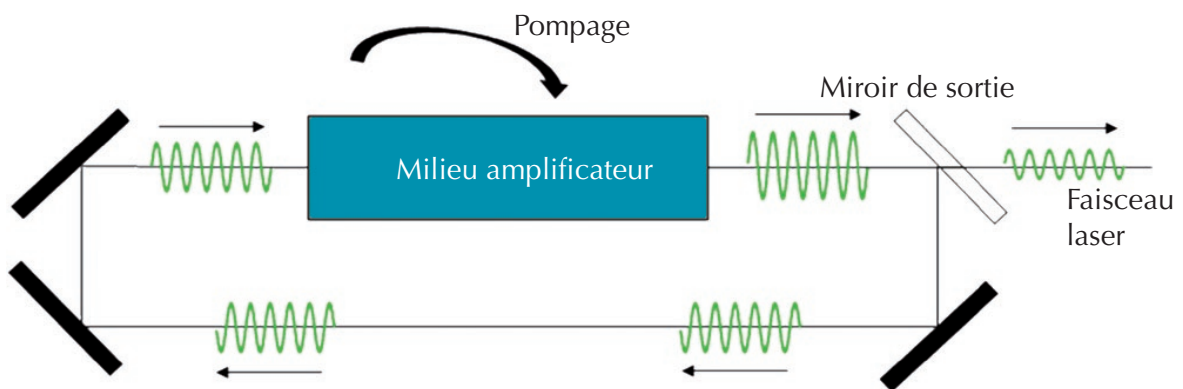


Figure 4 : Schéma simplifié du fonctionnement d'un laser [71].

La source d'énergie extérieure vient exciter les atomes contenus dans la cavité optique. Les atomes excités libèrent alors un photon pour retrouver leur état fondamental. Les photons émis, tous identiques, se réfléchissent dans l'un des miroirs qui se font face jusqu'à percuter un atome. On obtient une lumière amplifiée, unidirectionnelle et de même longueur d'onde, qui sort du dispositif grâce à l'un des miroirs semi-réfléchissants. Seuls sortiront de la cavité résonante, par le miroir semi-réfléchissant, les photons strictement cohérents et unidirectionnels.

## **2.3 Effets biologiques**

### **2.3.1 Mécanisme cellulaire**

Malgré les études menées depuis plus de 40 ans, aujourd'hui le mécanisme du LLLT ne reste pas encore parfaitement établi, cependant, il existe un fort niveau de preuve sur lequel le LLLT reposerait sur la respiration cellulaire des mitochondries [31]. Le modèle proposé actuel est décrit dans les parties suivantes.

#### **2.3.1.1 Rappel sur la chaîne respiratoire dans les mitochondries**

Les mitochondries sont de véritables « centrales énergétiques » dans nos cellules. Au niveau de leur membrane interne, un ensemble de réactions chimiques, appelées chaîne respiratoire, convertissent les molécules alimentaires et d'oxygène en énergie (ATP) par phosphorylation oxydative [23]. Cette chaîne respiratoire est composée de 4 complexes protéiques qui s'enchaînent pour aboutir à la production d'ATP, molécule énergétique, nécessaire au fonctionnement de la cellule.

#### **2.3.1.2 Photobiologie et photobiostimulation**

Le fonctionnement de LLLT est dicté par les lois de la photobiologie. Une réaction photobiologique implique l'absorption d'une longueur d'onde spécifique de la lumière par un accepteur de photons ou autrement appelé chromophore [74]. L'absorption de photons par un chromophore, va induire l'excitation d'électrons qui passent d'une orbite de basse énergie à une orbite de haute énergie. Cette énergie emmagasinée peut ensuite être utilisée par le système pour effectuer diverses tâches cellulaires [21].

Il a été proposé que la cytochrome c oxydase soit le principal chromophore de la gamme des infra-rouges dans les cellules de mammifères en raison du spectre d'absorption obtenu pour la cytochrome c oxydase dans différentes oxydations [45].

L'hypothèse actuelle serait que la cytochrome oxydase induirait des molécules de signalisations qui viendraient activer divers facteurs de transcription qui eux même à leur tour permettraient la transcription de gènes et par conséquent la

synthèse de protéines impliquées dans la prolifération, la migration cellulaire [23] (Figure 5). Les propriétés thérapeutiques qui constituent tout l'intérêt de ce laser, seraient le résultat de cette cascade biochimique[30][44].

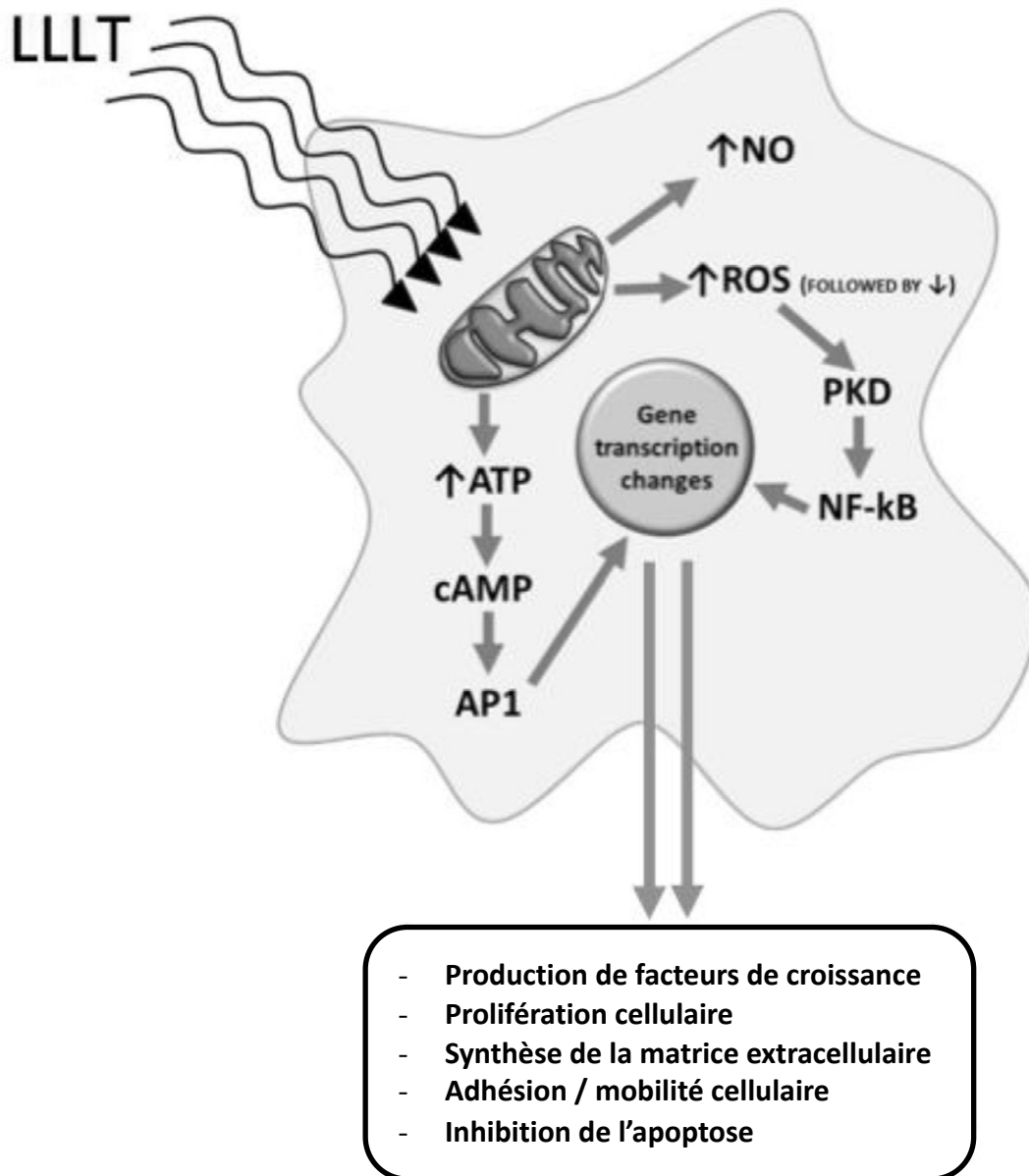


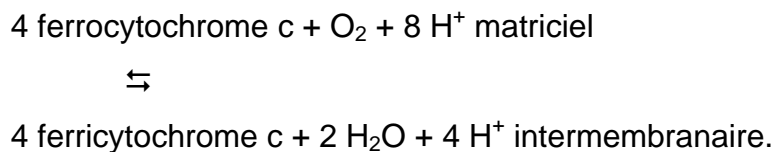
Figure 5 : Schéma du mécanisme cellulaire de LLLT, d'après Carroll et al. [17].

### 2.3.1.3 Réponse primaire : cytochrome c oxydase

Selon plusieurs études, il existe un fort niveau de preuve que la cytochrome c oxydase serait le photo-accepteur principal aux irradiations du LLLT [45].

L'identification du chromophore est obtenue avec l'aide du spectre d'action. Pour identifier précisément le photo-accepteur, il a fallu comparer le spectre d'action au spectre d'absorption du potentiel photo-accepteur car ces derniers sont fortement liés [44]. Le spectre d'action correspond à tout graphe représentant une photo-réponse en fonction de la longueur d'onde, du nombre d'onde, de la fréquence ou de l'énergie des photons [44].

Appelée également complexe IV de la chaîne respiratoire, la cytochrome c oxydase est une protéine transmembranaire située dans la mitochondrie [25]. Composée d'un centre binucléaire du cuivre (CuA) ainsi qu'un centre binucléaire de l'hème (a3-CuB), c'est une enzyme terminale de la chaîne respiratoire qui constitue le dernier échangeur d'électrons [60][44]. Elle est le principal site de consommation d'oxygène cellulaire et, en tant que telle, elle joue un rôle central dans la phosphorylation oxydative et la génération d'adénosine-triphosphate [31].



De cette activation de la cytochrome c oxydase, 4 principales molécules de signalisations sont libérées dans le cytoplasme des cellules irradiées [31] [23] :

- ATP,
- Oxyde nitrique,
- Espèces réactives de l'oxygène,
- AMP cyclique.

#### **2.3.1.4 Réponse secondaire : molécules de signalisation**

##### **2.3.1.4.1 ATP : adénosine triphosphate**

Le cytochrome c oxydase génère ainsi un gradient de proton utilisé pour produire de l'ATP. Ainsi, l'application de lumière influence directement la production d'ATP en affectant l'un des complexes de la chaîne et en déplaçant le potentiel d'oxydo-réduction cellulaire dans une direction plus oxydée [44].

#### **2.3.1.4.2 Oxyde nitrique**

Dans les tissus stressés ou ischémiques, les mitochondries synthétisent de l'oxyde nitrique qui entre en compétition avec l'oxygène en se liant au cytochrome c oxydase, empêchant ainsi la production d'énergie. Il a été proposé que l'irradiation au laser puisse inverser cette inhibition en photo-dissociant le NO à partir de ses sites de liaison [31]. Cette liaison étant beaucoup plus faible qu'une liaison covalente, cette dissociation est possible par LLLT [30].

#### **2.3.1.4.3 DRO (dérivés réactifs de l'oxygène)**

Parce que LLLT favorise le métabolisme de l'oxygène, il contribue également à augmenter la production de DRO (ROS en anglais), sous-produit naturel issu du métabolisme de l'oxygène [21]. À son tour, DRO active les facteurs de transcription le facteur nucléaire kappa B du facteur de transcription (NF-KB).

#### **2.3.1.4.4 AMP cyclique**

Une augmentation de l'adénosine a été remarquée avec LLLT. Bien qu'il soit tentant de supposer que cette augmentation de l'AMPc est une conséquence directe de la hausse de l'ATP causée par la lumière, il manque des preuves solides de ce lien [50].

### ***2.3.1.5 Réponse tertiaire : facteurs de transcription***

#### **2.3.1.5.1 Facteur nucléaire Kappa B**

NF-KB est un facteur de transcription qui régule l'expression de divers gènes liés à de nombreuses fonctions cellulaires, à savoir les réponses et la survie inflammatoires et induites par le stress. Son activité est régulée par une rétroaction négative modulée elle-même par un inhibiteur appelé IKB, qui se lie à NF-kB [31].

#### **2.3.1.5.2 HIF facteur inducteur de l'hypoxie**

HIF-1 $\alpha$  est une isoprotéine impliquée dans l'adaptation cellulaire à l'hypoxie. Il est stabilisé à de faibles tensions en oxygène, mais en présence de concentrations

d'oxygène plus élevées, il est rapidement dégradé par les enzymes prolyl hydroxylase, qui dépendent de l'oxygène [31].

### **2.3.1.6 Réponse quaternaire : transcription des gènes et molécules effectives**

La transcription des gènes par les facteurs de transcription entraînent ensuite une synthèse protéique qui déclenche d'autres effets en aval, tels qu'une prolifération cellulaire accrue, la migration, la modulation des niveaux de cytokines, des facteurs de croissance et des médiateurs inflammatoires, et une oxygénation accrue des tissus [21].

## **2.4 Paramètres spécifiques au LLLT**

Il existe de nombreux paramètres qui définissent un laser, offrant ainsi une multitude de combinaisons possibles de réglages. Sans une certaine standardisation de la liste des paramètres, ainsi que dans leur mesure, il est difficile d'avancer dans le domaine du LLLT, car les études ne sont pas reproductibles et les résultats de la recherche clinique et de la pratique ne sont pas plus efficaces. Il serait donc nécessaire d'établir une standardisation de ces paramètres [43].

On distingue deux grandes catégories de paramètres [42] :

- le « médicament » qui décrit les paramètres du faisceau,
- la dose.

### **2.4.1 Paramètres du faisceau**

#### **2.4.1.1 Longueur d'onde**

La longueur d'onde est le paramètre le moins discuté dans la communauté des scientifiques au sujet du LLLT. Elle serait comprise entre 600 à 1000 nm, du rouge à l'infra-rouge [42][17][30][21][31].

On distingue deux plages de longueurs d'onde ; l'une comprise entre 600 et 700 nm, choisie pour le traitement des tissus superficiels, et l'autre, comprise entre 780 et 950 nm, choisie pour les tissus plus profonds, en raison sa plus grande



distance de pénétration optique à travers les tissus. Les longueurs d'onde comprises entre 700 et 770 nm sont considérées comme peu actives [21].

#### **2.4.1.2 Puissance et irradiance**

$$\text{Puissance (W)} = \text{Energie (J)} / \text{temps (s)}$$

La puissance se définit classiquement comme la quantité d'énergie délivrée par unité de temps. Elle s'exprime en Watts (W), et pour un laser de basse intensité sa valeur est comprise entre 0,001 et 0,1 Watts [69].

$$\text{Irradiance (W/cm}^2\text{)} = \text{Puissance (W)} / \text{surface du faisceau (cm}^2\text{)}$$

L'irradiance, appelée aussi l'éclairement énergétique, exprimée en Watts/cm<sup>2</sup>, est la puissance par unité de surface.

Ce paramètre est souvent sous-estimé voir remplacé ou associé à celui de la fluence. Cette croyance peut découler de la loi de réciprocité de Bunsen – Roscoe [43] (également connue sous le nom de troisième loi de photobiologie) qui affirme que les effets de l'irradiation seraient indépendants de l'irradiance et du temps d'exposition aussi longtemps que le rayonnement sera irradiant. Cette règle a, par la suite, été réfutée. Cependant, de nombreuses études ont montré qu'à une dose constante pour un rayonnement d'irradiance trop élevée, le traitement s'avèrerait moins efficace [11].

Ce paramètre est fréquemment mal signalé en raison de difficultés de mesure de la surface du faisceau. Les études qui ont soigneusement mesuré l'irradiance du faisceau ont montré qu'à des gammes de valeurs différentes il n'y avait pas les mêmes effets thérapeutiques [17] :

- 5–55 mW / cm<sup>2</sup> : la réparation des tissus et des effets anti-inflammatoires étaient observés.

- > 300 mW / cm<sup>2</sup> : l'analgésie nécessite généralement des densités de puissance plus élevées, nécessaires pour inhiber la conduction nerveuse dans les fibres C et les fibres A-delta.

### **2.4.1.3 Surface d'irradiation**

La surface d'irradiation, exprimée en  $\text{cm}^2$ , est nécessaire pour calculer l'irradiance, mais elle est difficile à mesurer.

En effet, cela n'est pas toujours facile à déterminer car les faisceaux laser sont généralement d'une part souvent elliptiques et non ronds, et d'autre part plus intenses au centre puis s'affaiblissent vers le bord (distribution gaussienne) [17] [11], il est donc difficile de définir où se trouve exactement le bord du faisceau sans instruments spéciaux.

De plus, sa valeur est souvent confondue avec l'ouverture du faisceau ce qui n'est en réalité pas exact [11].

De nombreux chercheurs ne signalent pas ce paramètre dans leurs études, voire pire, ne l'emploient pas correctement lorsqu'ils le signalent.

### **2.4.1.4 Paramètres d'impulsion**

Il existe trois modes d'émissions, seuls deux sont utilisées pour les lasers de basse puissance :

- émission continue,
- émission pulsée.

L'impulsion est le nombre de pulses (émissions du faisceau laser) par secondes, son unité est le Hertz. Pour une émission continue, sa valeur est de 0 Hertz.

L'influence relative des modes continues et pulsés sur la réponse cellulaire n'a pas été complètement étudiée, cependant des études ont observé un effet plus important avec une émission pulsée.

Un impact plus favorable est rapporté sur la capacité de fibroblastes à produire du collagène de novo avec émission pulsée dans une étude comparative avec une émission continue [10].

**L'étude de Brondon et al.**, stipule qu'un effet stimulant significativement plus important sur la prolifération cellulaire est observé avec une émission pulsée qu'avec une émission continue [15].

De plus, il semblerait que la structure de la pulsation (nombre de répétitions,

durée des répétitions) aurait des effets biologiques différents.

Une étude sur les lésions cérébrales traumatiques chez la souris a montré que 10 Hz était plus efficace que 100 Hz ou CW pour réduire le score de sévérité neurologique [5].

Un autre exemple, montre de meilleurs effets en utilisant des impulsions de 1 ou 2 Hz que des lasers de 8 Hz ou CW 830 nm sur des cellules osseuses de rat [80].

Dans l'ensemble, l'efficacité comparative des modes pulsés et continus, ainsi que la structure des pulsations sur les processus cellulaires reste une question ouverte. Jusqu'à présent, des études comparatives ont montré des résultats contradictoires ne permettant pas de conclure une préférence pour ce paramètre.

#### **2.4.1.5 Position anatomique**

Plusieurs sites peuvent être traités, ils doivent tous être décrits lors des études. Les paramètres à appliquer peuvent différer d'un site à l'autre.

### **2.4.2 Paramètres de la dose**

La dose est souvent réduite au simple paramètres de l'énergie mais en réalité elle prend en compte trois paramètres : le temps, l'énergie et la fluence.

#### **2.4.2.1 L'énergie**

L'énergie, exprimée en joules, est la capacité du laser à produire un rayonnement. Contrairement à la plupart des lasers utilisés dans le milieu médical, la LLLT n'a pas pour but d'être ablatif ou thermique, mais plutôt un effet photochimique qui signifie que la lumière est absorbée et provoque un changement chimique. C'est la raison pour laquelle cette technique est appelée « de bas niveau » car le niveau optimal d'énergie délivrée est faible pour obtenir ce phénomène biologique [30]

$$\text{Puissance (W)} \times \text{Temps (s)} = \text{Énergie (J)}$$

#### **2.4.2.2 La fluence**

La fluence, appelée aussi densité d'énergie, exprimée en  $\text{J}/\text{cm}^2$  est la quantité

d'énergie délivrée par unité de surface.

Certains articles distinguent bien la différence entre l'irradiance et la fluence. Avec une fluence constante et des variations d'irradiance, certaines études ont montré un résultat différent démontrant ainsi l'importance de faire la distinction entre ces deux paramètres.

Ce paramètre est couramment évoqué dans les études cliniques, mais il ne suffit pas à lui-même pour définir la dose contrairement aux idées reçues.

$$\text{Puissance(W)} \times \text{durée(s)} / \text{surface du faisceau} = \text{fluence (J/cm}^2\text{)}$$

### **2.4.2.3 Le temps**

#### **- Temps d'exposition**

Du fait d'une absence de réciprocity entre les effets d'irradiation et le temps d'exposition, le moyen le plus précis de prescrire le LLLT consisterait à définir en premier lieu les paramètres du faisceau, puis à définir le temps d'irradiation comme la «dose» réelle.

En règle générale, les temps de traitement sont compris entre 30 et 60 secondes par point de traitement [17].

#### **- Intervalle traitement et nombres de séances**

Pour les thérapies aiguës et postopératoires, un traitement serait suffisant, mais pour la douleur chronique et des conditions dégénératives jusqu'à dix séances pourraient être nécessaires [17].

Un traitement de lésions aiguës (ou post-opératoire) a des effets cliniquement significatifs.

Les avis divergent sur les recommandations d'intervalles et du nombre de séances d'un article à un autre, de plus « cette posologie » semblerait aboutir à des résultats différents, mais davantage de données doivent être collectées afin de définir l'ampleur des différences entre eux.

Pour les pathologies de douleurs chroniques non cicatrisantes ou chroniques, la LLLT nécessite généralement deux ou trois traitements par semaine pendant plusieurs semaines pour atteindre son importance clinique selon l'article.

Selon la World Association of Laser Therapy, un traitement quotidien pendant 2 semaines ou un traitement tous les deux jours pendant 3 à 4 semaines est recommandé pour les traitements musculaires et tendineux.

### 2.4.3 Réponse biphasique

Les paramètres ont une grande importance pour l'obtention de résultat, s'ils ne sont pas correctement appliqués, le traitement risque d'être inefficace, voire néfaste. Il existe une courbe biphasique qui illustre la réponse en fonction de la dose délivrée [42]. En effet, cette réponse suit le modèle de la «loi de Arndt-Schulz». Cette loi stipule, en termes simples, que si une énergie insuffisante est appliquée, il n'y aura pas de réponse (parce que le seuil minimal n'a pas été atteint), si plus d'énergie est appliquée, un seuil est alors franchi et la biostimulation est atteinte, mais lorsque trop d'énergie est appliquée, la stimulation disparaît et est remplacée par la bio-inhibition pouvant aller jusqu'à entraîner des effets indésirables. Une illustration idéalisée (Figure 8) similaire à celle suggérée par Sommer (Sommer et al. 2001) aide à comprendre le concept.

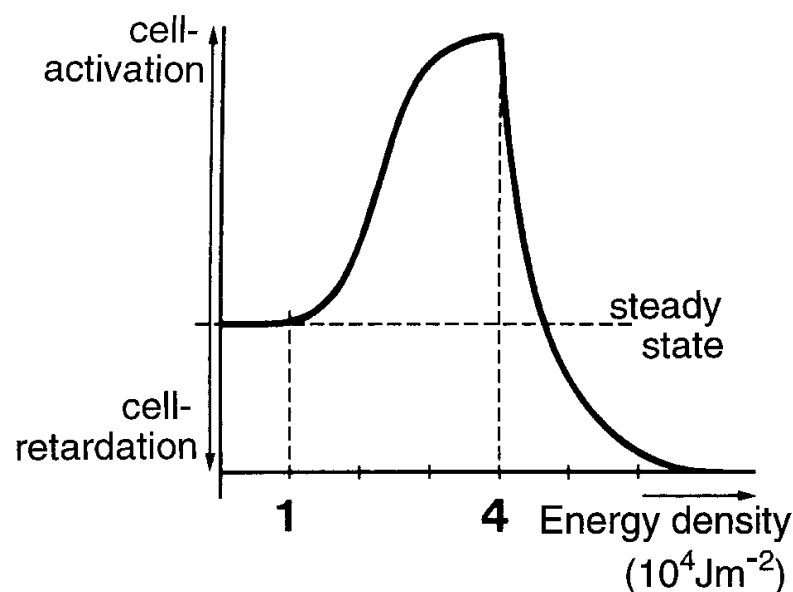


Figure 6 : Courbe de la réponse en fonction de la dose [75].

Il s'agit donc d'une relation non linéaire, qui caractérise la relation dose-effet dans le phénomène de photobiomodulation.

Voici quelques exemples :

- A faible dose (jusqu'à  $2 \text{ J/cm}^2$ ), la photobiomodulation stimule **la prolifération**, tandis qu'à des doses plus élevées ( $16 \text{ J/cm}^2$  ou plus), la photobiomodulation est suppressif, ce qui souligne la dépendance dose-effet [13].
- Les résultats indiquent qu'une fluence de  $5 \text{ J/cm}^2$  sur 2 jours stimule **l'activité mitochondriale (ATP activité) et la prolifération cellulaire** sans nuire à la viabilité cellulaire, sans endommager l'intégrité de la membrane ni endommager l'ADN. Des doses plus élevées ( $10$  et  $16 \text{ J/cm}^2$ ) entraînent une diminution de la viabilité cellulaire et de l'activité mitochondriale avec une augmentation du pourcentage de cytotoxicité et de dommages à l'ADN [40].

#### 2.4.4 Laser ou LED ?

Actuellement, l'une des sources de débat les plus importantes au sein de la communauté clinique au sujet de LLLT est de savoir s'il y a une différence entre l'utilisation de laser ou de LED (diode électroluminescente).

Le premier laser utilisé pour les travaux initiaux sur le LLLT utilisait un laser HeNe, émettant une lumière d'une longueur d'onde de  $632,8 \text{ nm}$ . Aujourd'hui, de plus en plus d'études utilisent des diodes électro-luminescentes. À l'origine, il était estimé que la cohérence de la lumière laser était indispensable pour obtenir les effets thérapeutiques de la LLLT, mais cette notion a récemment été remise en question par l'utilisation de LED, qui émettent une lumière non cohérente sur une gamme de longueurs d'onde plus étendue que les lasers. Il reste à déterminer s'il existe une différence réelle entre le laser et les LED et, le cas échéant, si elle résulte de la cohérence ou de la monochromaticité de la lumière laser, par opposition à la non-cohérence et à la largeur de bande plus large de la source [21].

## 3 Indications

Quelques articles proposent une liste d'indications non exhaustives du LLLT dans le domaine de l'odontologie [46][1][17][69][83][84][21][67]. Dans cette seconde partie, une liste d'indications est proposée, comprenant les indications les plus étudiées et récurrentes. La chronologie des indications est présentée selon leurs niveaux de preuves décroissantes.

### 3.1 Tissus mous

#### 3.1.1 Mucite

La mucite buccale est une inflammation des muqueuses de la bouche, qui se manifeste par une rougeur, une douleur et des aphtes plus ou moins nombreux. Une mucite buccale est un effet indésirable possible d'une chimiothérapie ou d'une radiothérapie. (def institut national cancer)

Elle peut être à l'origine de limitations nutritionnelles et d'infections secondaires et de fièvre. En raison de sa morbidité, le traitement doit souvent être modifié ou suspendu, ce qui nuit au contrôle de la tumeur et à la survie du patient [8].

**La méta-analyse de Anschau et al.** (2019), à partir de cinq études jugées de bonne qualité, a évalué les avantages cliniques de LLLT sur [8] :

- **la sévérité** : Il y avait une diminution de 62% du risque de mucite grave chez les patients recevant une LLLT par rapport au groupe témoin,
- **la durée moyenne** : Le temps de résolution complet était réduit de 4,21 jours par rapport au groupe placebo,
- **le soulagement de la douleur** : le score de douleur de départ était en moyenne de 8 (indice de douleur numérique de 0 à 10, 10 étant le plus douloureux)) à 1 dans le groupe LLLT et à 2,5 dans le groupe placebo lors de l'évaluation à 7 jours.

La MASCC (Multinational Association of Supportive Care in Cancer) a publié en 2014 des recommandations en faveur de l'usage de LLLT dans la prévention des mucites [49].

Bien que les données sur les avantages cliniques de LLLT sur la mucite soient prometteuses, des questions subsistent quant au risque potentiel de transformation des cellules précancéreuses ou de stimulation/protection des cellules malignes [8].

A l'heure actuelle, les cliniciens suggèrent d'utiliser la dose la plus basse dans la fourchette recommandée cliniquement efficace jusqu'à ce qu'ils disposent de données plus approfondies sur les effets sur la tumeur et autres effets indésirables [27].

Il est également suggéré d'éviter l'exposition directe du site de la tumeur pendant le traitement par LLLT, bien que ce laser soit un processus non thermique, tout échauffement important des tissus doit être évité par sécurité [11].

Afin de développer des normes de pratiques sûres et efficaces, des paramètres d'application ont été suggérés pour le traitement par LLLT. Les paramètres recommandés pour la gestion de la mucite buccale étaient les suivants [27] :

- longueur d'onde comprise entre 633 et 685 nm ou 780 à 830 nm,
- puissance de sortie comprise entre 10 et 150 mW,
- densité d'énergie de 2 à 3 J / cm<sup>2</sup> et d'au plus 6 J / cm<sup>2</sup>.

### **3.1.2 Stomatite aphteuse récidivante**

Une stomatite aphteuse récidivante (SAR) est une pathologie fréquente dans laquelle des aphtes douloureux réapparaissent sur la muqueuse buccale. Les aphtes se caractérisent par des ulcères de petites tailles, ronds ou ovoïdes, auto-cicatrisants et récurrents, avec des bords circonscrits, des halos érythémateux et un fond jaune ou gris [64]. Il en existe trois types différents : les mineurs, les majeurs et herpétiforme. Selon le type, la guérison peut aller d'une à six semaines.

Le traitement curatif n'est actuellement pas disponible pour prévenir la récurrence de l'ulcère. Le traitement conventionnel n'a pour objectif principal que de soulager la douleur et prévenir une potentielle infection. Il est préconisé l'utilisation de médicaments topiques, sous forme de rince-bouche, pâte adhésive ou gel anesthésique ; et dans les cas plus sévères un traitement systémique (immunosuppresseurs). Principalement des corticostéroïdes, ainsi que des antiseptiques, antalgiques et antibiotiques sont utilisés [79].

Il a été prouvé que la LLLT est efficace dans la cicatrisation des plaies et le soulagement de la douleur des aphtes.



**Les revues systématiques de Han et al. (2016) et Suter et al. (2017)** ont montré des résultats favorables du LLLT dans le traitement des aphtes par rapport au placebo ou à l'absence de traitement [39][77]. Il faut noter que l'effet sur la cicatrisation ne peut pas être totalement dissociée de l'effet sur la douleur. Il n'existe pas suffisamment de preuve pour affirmer que le LLLT permettrait de réduire la fréquence voire même d'arrêter l'apparition de phases aiguës.

La question n'est plus de savoir si ce laser est efficace mais de savoir s'il existe un réel avantage face aux traitements conventionnels. Actuellement aucune amélioration significative n'a été démontrée face aux traitements locaux. Cependant, en raison de l'absence d'effets secondaires lors de l'utilisation de LLLT, le laser présente un avantage dans les cas sévères d'aphtes, en effet, face le traitement systémiques par immunosuppresseurs a des effets négatifs supérieurs à ceux bénéfiques pour le patient [14].

Bien que ces revues démontrent une amélioration significative dans le soulagement et dans la cicatrisation, il nécessiterait des études plus approfondies pour deux raisons principales : les études incluses ont une puissance faible, et d'autres par la grande variabilité des paramètres ne permettent pas de bien évaluer les études entre elles. Par conséquent, des essais cliniques à long terme, randomisés, contrôlés et de grande taille, rigoureusement conçus, doivent être menés.

### **3.1.3 Lésions herpétiques**

L'herpès simplex, communément appelé « bouton de fièvre », est une infection virale cutanée, très répandue, qui se manifeste par un groupement de vésicules, d'érythème et d'inconfort associé, causé par le virus de l'herpès simplex (VHS) de type I ou II [26]. Il présente généralement une lésion primaire, avec des périodes de latence et une tendance à la rechute. Le site d'infection le plus courant est la lèvre et la région per-orale [46].

Le traitement conventionnel de choix est l'acyclovir sous forme topique et/ou systémique [81]. Cependant les traitements actuels présentent un certains nombres d'inconvénients. Les agents antiviraux, bien qu'efficaces, présentent un risque de néphrotoxicité par cristallisation dans les tubules des néphrons si l'hydratation n'est

pas suffisamment assurée. De plus, l'acyclovir a la particularité de posséder une demi-vie courte, ce qui nécessite une application/administration fréquente (cinq fois par jour), et son apparence peu cosmétique peut occasionner une gêne pour le patient[26]. Enfin, l'utilisation croissante de l'acyclovir serait associée à l'apparition de souches d'herpès virus pharmaco-résistants[65].

**La revue systématique de Al-Maweri** de 2018, regroupe 6 études qui traitent l'efficacité du LLLT dans le traitement pour l'herpès [2]. L'analyse des résultats des études incluses a révélé que la LLLT était efficace pour réduire la douleur, temps de guérison et taux de récurrence de l'herpès labial.

Dans un essai randomisé contrôlé, des chercheurs ont étudié la récurrence de la lésion : les patients recevaient un traitement LLLT tous les jours pendant 2 semaines pour le traitement des infections à Herpès simplex. L'intervalle moyen sans lésions herpétiques était de 37,5 semaines chez les patients traités par laser et de 33 semaines chez les patients recevant un placebo, et la différence était significative [70].

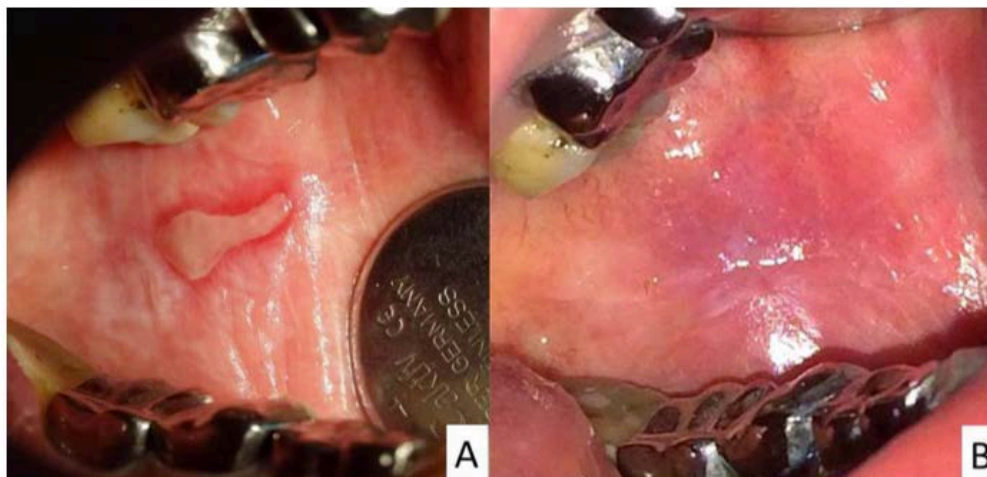
### **3.1.4 Lichen plan**

Le lichen plan buccal est une pathologie inflammatoire chronique qui affecte les muqueuses orales [3]. Il peut toucher les joues la langue et les gencives. Cliniquement, le lichen plan buccal peut être classé en différentes variantes telles que les types réticulaire, érosif, atrophique, bulleux, en forme de plaque et papuleux [37]. Le lichen plan réticulaire ne présente généralement aucun symptôme ni inconfort et ne nécessite aucun traitement, contrairement au lichen plan érosif, lui plus susceptible de se transformer en une lésion maligne et peut être très douloureux ; et par conséquent devrait être traité [41].

Principalement, le lichen plan se traite par une thérapie médicamenteuse : les corticostéroïdes topiques sont généralement prescrits et pour les lésions plus graves et persistantes, d'autres médicaments tels que les corticostéroïdes systémiques, les rétinoïdes, les immunosuppresseurs sont utilisés [37].

**La méta-analyse de Hoseinpour Jajarm et al (2018), ainsi que la revue systématique d'Al Maweri et al (2018) ont montré que le traitement du lichen plan buccal par LLLT montrait une réduction de la douleur et une réduction significative de la taille des lésions [41][3]. Le laser était aussi efficace dans le traitement du lichen plan oral que les corticostéroïdes topiques, sans effets secondaires. À ce jour, la thérapie aux stéroïdes est toujours la thérapie de référence mais le LLLT semble être un traitement prometteur.**

Exemple d'un cas (Figure 7) : Un patient, présentant un lichen plan, a reçu un traitement par laser de basse intensité avec paramètres 810nm, 0,5 W, 30 s, 1,2 J / cm<sup>2</sup>, trois fois par semaine pendant un mois.



*Figure 7 : Photographies endobuccales d'un lichen plan érosif avant/après (A/B) traitement par LLLT [57].*

### **3.1.5 Parodontite**

La parodontite est une inflammation des tissus qui entourent et soutiennent les dents (gencive, os alvéolaire, ligament).

L'utilisation de LLLT en tant que complément au traitement conventionnel a fait ses preuves dans le domaine de la parodontologie.

Plusieurs études ont démontré les apports de LLLT en post-opératoires d'une gingivectomie [4][47][59]. De meilleures suites opératoires ont été observées : une réduction de l'œdème et de la douleur, une cicatrisation plus rapide. Ce confort pour

le patient lui permettrait de reprendre plus vite et sans douleur un bon contrôle de plaque.

Une cicatrisation plus rapide après gingivectomie est observée grâce à une application locale de LLLT (Figure 8).



*Figure 8 : Photographies endobuccales d'un patient ayant eu recours à une gingivectomie avec traitement LLLT (pré opératoire (a), immédiat (b), application LLLT (c), post opératoire 3<sup>e</sup> jour (d), au 7<sup>e</sup> jour (e), au 15<sup>e</sup> jour (f)) [59].*

**La méta-analyse de Ren et al. (2017) et la revue systématique de Mokeem (2018)** ont montré que le surfaçage radiculaire associé à LLLT avait de meilleurs résultats dans le traitement de la parodontite, par rapport au surfaçage seul [62][56]. Il semblerait notamment apporter une amélioration dans la diminution de la profondeur des poches au sondage [62].

### 3.1.6 Endodontie

- Traitement initial endodontique et retraitement endodontique

LLLT serait efficace pour réduire la douleur et l'inflammation après les traitements et les retraitements endodontiques, comme l'a démontré la revue systématique de **Chen et al. (2019)** [19]. Après le traitement du canal radiculaire l'application de LLLT

au sommet de chaque racine pour réduire la douleur postopératoire et moduler la réponse inflammatoire [67].

- Chirurgie apicale

Le soulagement de la douleur, gonflement et inflammation post opératoire après les apectomies peut être obtenu en irradiant le site de l'opération après la suture.

Dans l'étude de **Metin et al.** (2018), le groupe laser (Figure 10 et 12) a présenté des résultats significativement favorables en termes de densité osseuse, de volume et de surface du défaut et d'index périapical par rapport au groupe témoin (Figure 9 et 11) après le troisième mois postopératoire [54].



Figure 9 : Photographies endobuccales après résection apicale sur 22 d'un patient appartenant au groupe témoin [54].



Figure 10 : Photographies endobuccales après résection apicale sur 22 d'un patient appartenant au groupe laser [54].

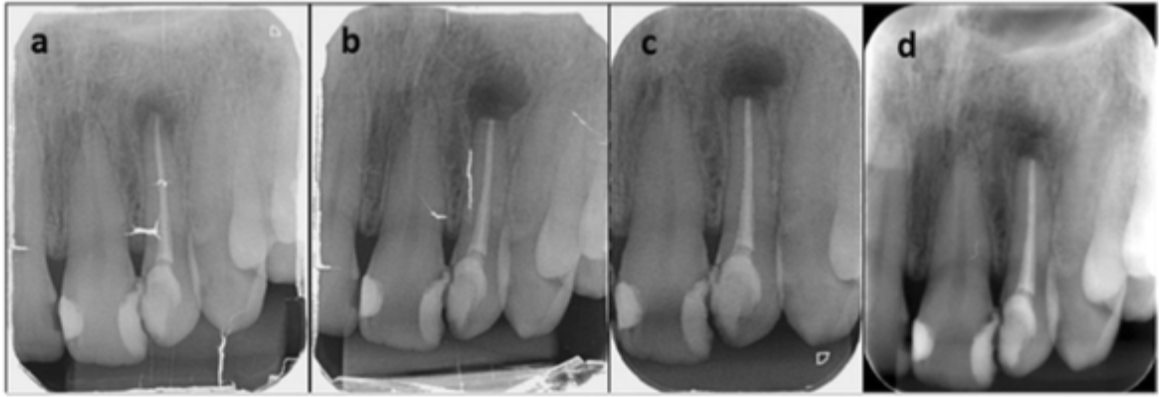


Figure 11 : Images radiographiques pré- et post- opératoire d'une résection apicale sur 22 chez un patient du groupe témoin [54].

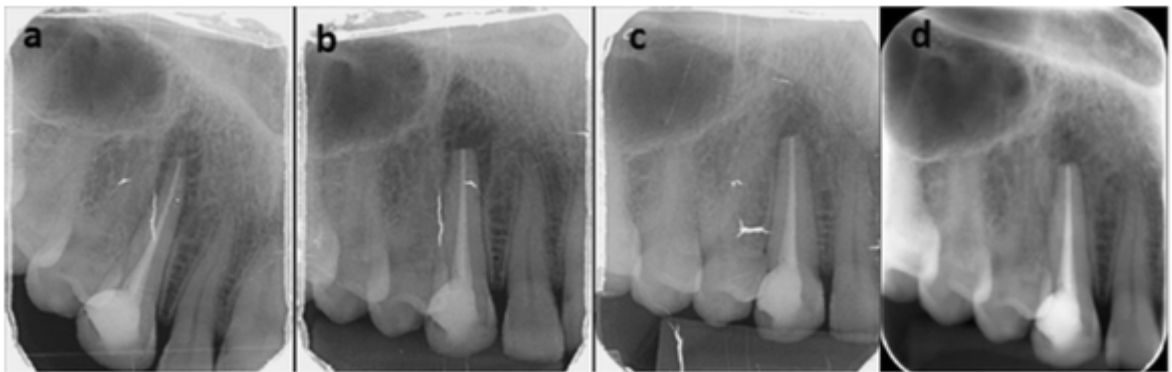


Figure 12 : Images radiographiques pré- et post- opératoire d'une résection apicale sur 13 chez un patient du groupe laser [54].

### 3.1.7 Lésions nerveuses

Des lésions iatrogènes du nerf alvéolaire inférieur et du nerf lingual peuvent survenir lors de procédures de chirurgie buccale et maxillo-faciale, plus particulièrement lors de l'avulsion des troisièmes molaires inférieures et des chirurgies orthognatiques [55]. Ces perturbations neurosensorielles restent un problème complexe et ne sont pas toujours faciles à résoudre.

Le LLLT a montré des résultats prometteurs dans la réparation et la régénération neural.

**Une revue de la littérature de De Oliveira et al. (2014)**, affirme que toutes les premières études in vivo actuelles de la littérature ont été efficaces pour restaurer la sensibilité [58].

**La méta-analyse de Bittencourt et al. (2017)**, regroupe 3 études affirmant chacune individuellement des effets positifs sur l'accélération de l'amélioration de la paresthésie liée à la chirurgie orthognathique [12].

Parmi ces trois études, l'une rapporte qu'une amélioration de la sensibilité générale de 68,75% pour le groupe laser, comparée à 21,43% pour le placebo 6 mois après la chirurgie a été observée [32].

### **3.1.8 Hyperhémie pulpaire**

LLLT peut également être utilisé comme outil de diagnostic de l'hyperhémie pulpaire [48]. Le rayonnement laser augmente la circulation sanguine. Un patient ressentirait une douleur aiguë lorsque le laser serait appliqué sur une dent hyperhémique [67]. Il existe très peu de références sur ce sujet, des études supplémentaires devront être conduites.

## **3.2 Tissus durs**

### **3.2.1 Traitement orthodontique**

L'orthodontie est le traitement des anomalies de position des dents. Ainsi le traitement orthodontique permet la réhabilitation fonctionnelle et esthétique de l'appareil masticatoire.

La douleur orthodontique est un effet secondaire indésirable. Cette douleur a tendance à atteindre son pic après 24 heures et une réduction est observée à partir du troisième jour après ajustements. Lorsque les douleurs sont insupportables pour le patient, certains praticiens prescrivent des anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), en raison de son origine inflammatoire. Cependant ces médicaments sont associés à de nombreux effets indésirables procurant ainsi un avantage au LLLT, qui lui à contrario, ne présenterait aucun effet secondaire grave et semblerait atténuer les douleurs comme le montrent **les méta-analyses de Deana et al. (2018)** et **Ren et al. (2015)** [24][63].

Une deuxième contrainte s'ajoute à la douleur dans le traitement orthodontique : la durée. De nombreuses études ont étudié différentes méthodes pour accélérer le mouvement des dents, notamment l'injection de drogue, la stimulation électrique, les champs électromagnétiques pulsés et la corticotomie [16]. Bien que ces méthodes puissent accélérer le mouvement des dents, elles sont parfois complexes et invasives. Le pouvoir biostimulant de LLLT permettrait d'accélérer le traitement de façon non invasive et sans douleur. **Les méta-analyses de Ge et al. (2015) et Long et al. (2015)** ont démontré que la LLLT pouvait accélérer le mouvement des dents lors d'un traitement orthodontique [33][52].

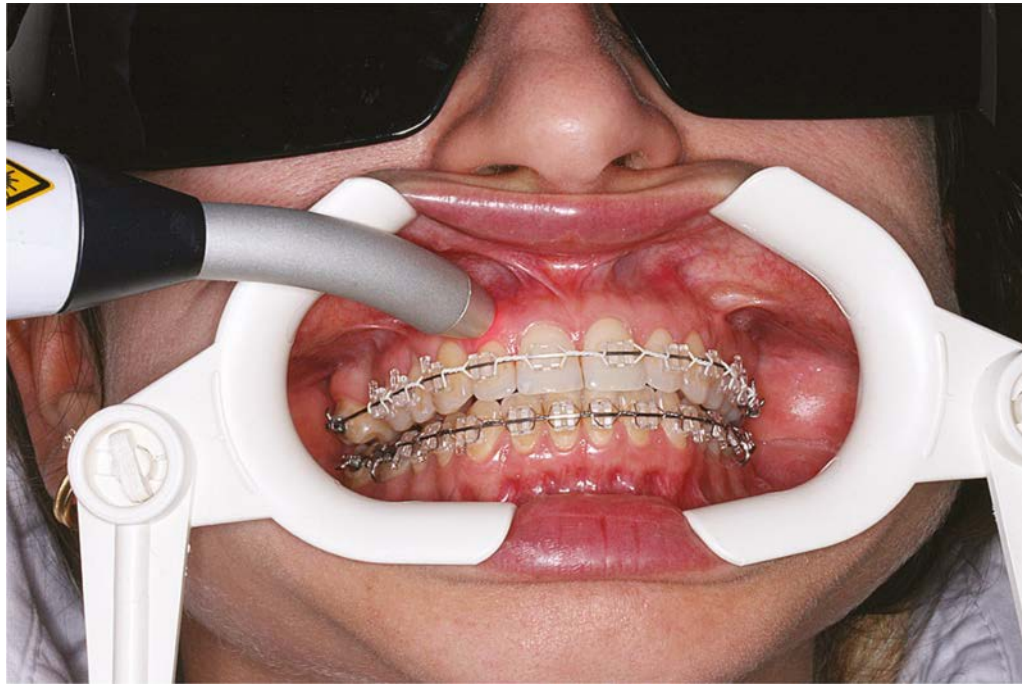
**L'étude de Genc et al.** a observé que le mouvement des dents dans le groupe laser était 20 à 40% plus rapide que dans le groupe témoin, ce qui était similaire à certaines études précédentes [34].

**L'étude de Long et al. (2015)**, par des preuves faibles, suggère que les irradiations de LLLT à une longueur d'onde de 780 nm, une fluence de 5 J/cm<sup>2</sup> et/ou une puissance de sortie de 20 mW pourrait accélérer le mouvement dentaire orthodontique en 2 mois et 3 mois [52].

Par ailleurs, les traitements orthodontiques peuvent être à l'origine de résorption inflammatoire lors de mouvements orthodontiques trop brutaux. Les études existantes sur la réparation/remodelage du ciment ainsi que la prévention de ces résorptions présentent des résultats mitigés, de plus amples études devront être réalisées [7].

Il existe deux manières d'appliquer LLLT pour accélérer le mouvement et réduire les douleurs orthodontiques : par applications point par point au niveau des racines (Figure 13) ou par application exobuccale sur la peau au niveau de la région orale.





*Figure 13 : Photographie d'une application de LLLT chez un patient suivant un traitement orthodontique [6].*

### **3.2.2 Hypersensibilité dentinaire**

L'hypersensibilité dentinaire (DH) est une affection dentaire fréquemment rapportée qui se caractérise généralement par une douleur brève et vive, qui ne peut être attribuée à aucune autre forme de défaut dentaire ou de pathologie, résultant de l'exposition de la dent à une réaction thermique, tactile, des stimuli osmotiques ou chimiques [73].

Les traitements actuels proposés aux patients consistent [87] :

- à réduire la perméabilité des tubulis dentinaires par des résines, adhésifs ou vernis.
- à diminuer la réponse nerveuse de la pulpe aux stimuli.

Cependant, l'utilisation d'agents occlusifs pour combler les tubulis, traitement le plus utilisé pour les sensibilités actuellement nécessite des applications répétées, une durée de traitement plus longue et l'observance du patient.

Outre l'effet analgésique immédiat, le LLLT permettrait de stimuler les fonctions cellulaires physiologiques normales. Les études histologiques ont montré que la stimulation des odontoblastes, la production de dentine réactionnelle réparatrice et l'oblitération des tubules dentinaires, provoquées par le laser, expliqueraient la suppression prolongée de la douleur causée par l'hypersensibilité de la dentine [29].

**Une méta-analyse de Sgolastra et al. (2013)**, la plus récente actuellement sur le sujet, montrent que les lasers Er:YAG, Nd:YAG et GaAIAs sembleraient être efficaces pour réduire la sensibilité [72].

L'essai clinique randomisé contrôlé à double insu, de **Yilmaz et al.**, avait pour but d'évaluer et de comparer les effets désensibilisants des lasers Er:Cr:YSGG et GaAIAs à 3 mois de suivi sur 51 patients [87]. Les caractéristiques des groupes sont présentées dans le tableau ci-dessous (tableau1).

**Tableau 1 : Caractéristiques des lasers utilisés dans l'étude de Yilmaz et al.**

	<b>Longueur d'onde</b>	<b>Puissance</b>	<b>Densité d'énergie</b>	<b>Mode</b>	<b>Durée de traitement</b>
<b>Groupe de lasers Er:Cr:YSGG</b>	2780 nm	0,25 W		Mode pulsée	30 secondes
<b>Groupe diodes laser (GaAIAs)</b>	810nm		8,5 J / cm <sup>2</sup>	Mode continue	60 secondes
<b>Groupe témoin</b>	Aucun traitement effectué				

L'intensité de la sensibilité était évaluée pour tous les groupes avec une échelle visuelle analogique (EVA, VAS en anglais) avec un score allant de 0 à 10 (10 étant le plus douloureux). Les comparaisons intragroupe ont révélé que les différences entre les scores de base et après le traitement, étaient statistiquement significatives dans les groupes de lasers Er:Cr:YSGG et GaAIAs (Figure 13).

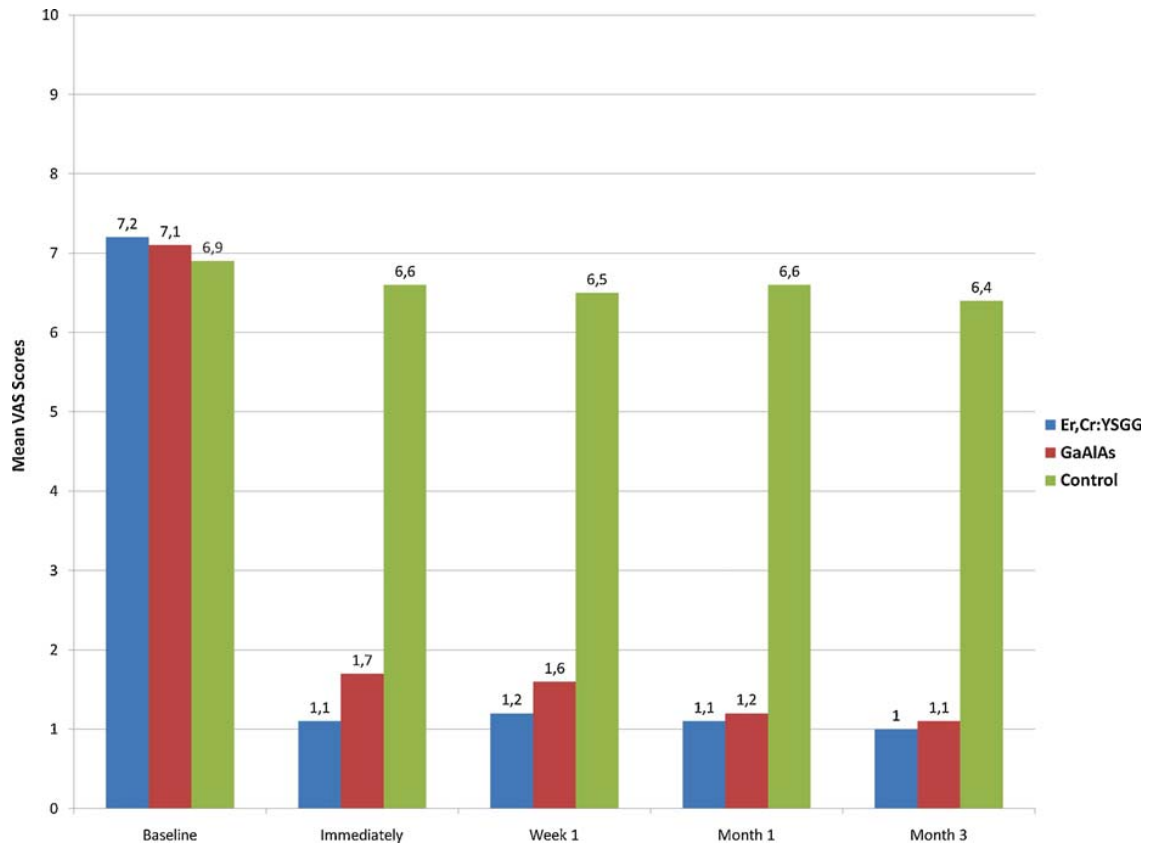


Figure 14 : Diagramme représentant les scores VAS des différents groupes sur un suivi de 3 mois [87].

### 3.2.3 Articulation temporo-mandibulaire

Le syndrome algo-dysfonctionnel de l'appareil manducateur (SADAM) est un trouble articulaire et musculaire de l'articulation temporo-mandibulaire (ATM). Les symptômes les plus courants sont la douleur, les bruits articulaires et les mouvements mandibulaires limités [18]. Une variété d'autres symptômes peuvent survenir, tels que les acouphènes, la déglutition anormale et la sensibilité des os hyoïdes. Son origine est multifactorielle et de ce fait son traitement serait une approche pluridisciplinaire [85]. LLLT, grâce à ses effets analgésiques et anti-inflammatoires, semblerait être une aide complémentaire aux traitements conventionnels [36].

**La méta-analyse de Xu et al. (2018)**, a montré qu' LLLT soulage efficacement la douleur et améliore les résultats fonctionnels chez les patients atteints de SADAM. La réduction de la douleur contribuerait à améliorer le mouvement de la mâchoire, la mastication et la performance masticatoire. Cependant les résultats n'ont pas pu

permettre de déterminer une fenêtre posologique efficace, des études supplémentaires seraient nécessaires[86].

L'étude D'Ayyildiz et al. (2015), démontre les effets bénéfiques de LLLT sur l'ouverture buccale chez des patients présentant des troubles fonctionnels (Figure 14 et 15).

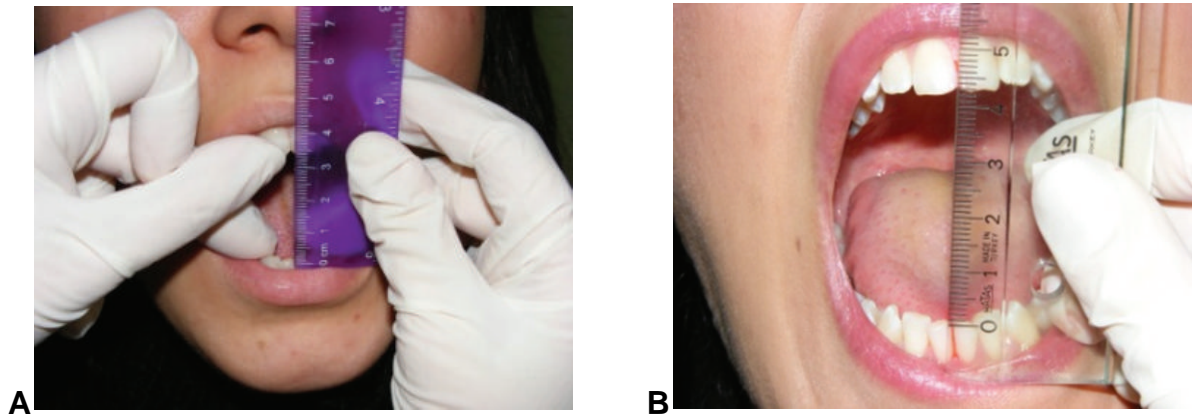


Figure 15 : Exemple 1 – Photographies exobuccales de l'ouverture buccale avant (A) et après (B) traitement par LLLT [9].

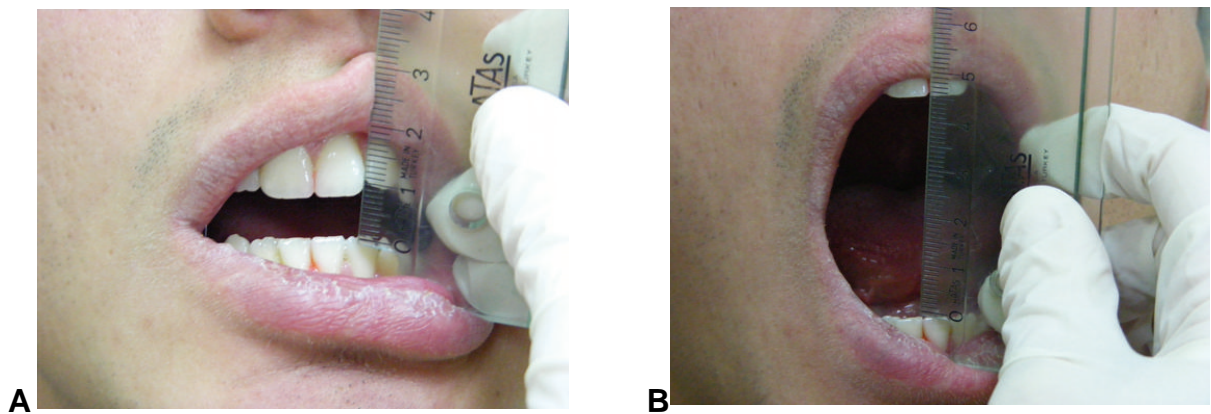


Figure 16 : Exemple 2 – Photographies exobuccales de l'ouverture buccale avant (A) et après (B) traitement par LLLT [9].

### 3.2.4 Implants

LLLT, dans le domaine de l'implantologie, a prouvé être efficace dans la réduction de la douleur et de l'inflammation suite à la pose d'implants[36]. Cependant, les dernières études se sont concentrées sur le potentiel bénéfique de LLLT dans l'ostéo-intégration. L'ostéo-intégration, clef de la réussite du succès

implantaire, décrit le lien structurel et fonctionnel direct entre l'os vivant et la surface d'un implant [20].

Les études conduites chez l'animal (rats, souris, babouins, lapins) ont montré une ostéo-intégration accélérée et une meilleure qualité de l'os autour de l'implant avec l'aide de LLLT [78]. L'activité ostéoblastique serait stimulée par LLLT.

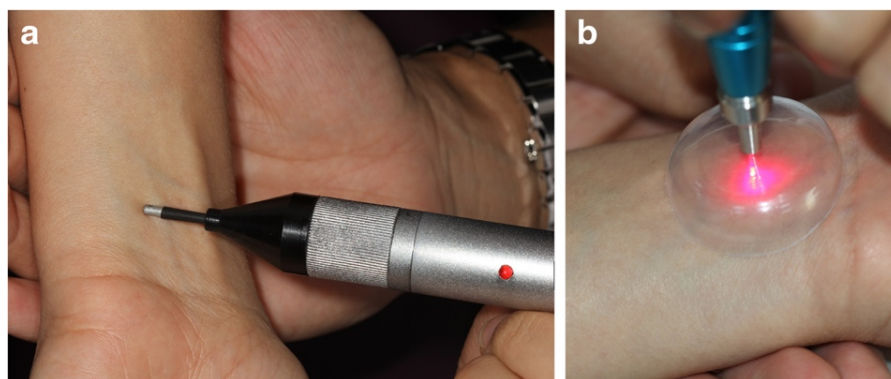
Cela aurait pour conséquence directe une mise en charge de l'implant plus rapide. Sur la base d'étude conduite sur les lapins, des cliniciens suggèrent qu'il serait possible de mettre en charge un implant à partir 84<sup>e</sup> jour au lieu de 120<sup>e</sup> jours pour la mandibule et à partir de 180<sup>e</sup> jours au lieu de 126<sup>e</sup> jour pour le maxillaire [53].

Cependant, malgré les résultats prometteurs sur le modèle animal, la récente **méta-analyse de Chen et al. (2019)**, ne montre aucune différence significative entre le groupe LLLT et le groupe témoin en ce qui concerne la stabilité de l'implant ou le taux de réussite [20]. Des études supplémentaires chez l'Homme devraient être conduites avec une meilleure conception d'étude et des paramètres bien établis.

### **3.3 Autres indications**

#### **3.3.1 Réflexe nauséeux**

Le réflexe nauséeux, réflexe inné et vital de protection, peut constituer un véritable obstacle à la réalisation de soins bucco dentaire et d'hygiène oral, en particulier chez le jeune patient. Dans la littérature, des études ont rapporté que l'application du LLLT sur le point d'acupuncture P6 du poignet atténuerait les sensations de nausée lors de soins, empreintes ou de radio intra- oral chez les patients.



*Figure 17 : Photographies de l'utilisation du LLLT au niveau du point d'acupuncture pour le traitement du réflexe nauséeux [28].*

En 2017, **une étude de Goel et al.**, a testé le LLLT sur 40 enfants présentant un réflexe nauséux modéré à fort lors d'une empreinte [35]. Chaque enfant recevait application d'un laser Diode, avec une puissance de sortie 0,5 mW, longueur d'onde 940 nm, d'énergie 4J et à distance de 1 pouce pendant 1 minutes. Les résultats, ont montré que non seulement la fréquence du pouls diminuait, les niveaux de saturation en oxygène étaient également améliorés mais aussi que les niveaux d'anxiété ont été réduits et le réflexe nauséux a été efficacement supprimé.

### **3.3.2 Xérostomie**

La xérostomie est un état de sécheresse de la bouche, lié à un manque de salive autrement dit à une hyposialie. Le traitement vise à augmenter le flux salivaire, même s'il reste palliatif dans la plupart des cas et est souvent insatisfaisant.

Le LLLT a été utilisée comme nouvelle approche non invasive, son application sur les glandes salivaires pourrait améliorer la salivation en intensifiant le métabolisme cellulaire.

**Les études de Juras et al. (2010), Loncar et al. (2011), et Pavlic (2012)**, respectivement, ont montré des résultats positifs de LLLT dans le traitement de la xerostomie [82][51][61]. Son action sur les glandes salivaires aurait une action stimulante sur le flux salivaire mais aussi régénérante sur les cellules épithéliales [61].

## 4 Contre-indications et sécurité

La conférence de l'Association nord-américaine pour la thérapie au laser de 2010 a tenu une réunion de consensus sur la sécurité et les contre-indications. Leurs principales recommandations étaient [23][17] :

- YEUX - Ne dirigez pas les rayons laser sur les yeux et toutes les personnes présentes devraient porter des lunettes de sécurité appropriées,
- CANCER - Ne pas traiter sur le site d'un quelconque carcinome primaire ou métastase secondaire connu à moins que le patient ne subisse une chimiothérapie; son utilisation peut toutefois être envisagée chez les patients cancéreux en phase terminale pour un soulagement palliatif,
- GROSSESSE - Ne pas traiter directement sur un fœtus en développement (conséquences inconnues),
- ÉPILEPTIQUE - Sachez que la lumière visible pulsée à basse fréquence (<30Hz) peut déclencher une crise chez les patients épileptiques photosensibles. Il est essentiel que les patients soient correctement protégés des faisceaux de pulsations.



## 5 Exemple de laser LLLT : ATP 38

L'appareil est constitué de :

- une unité mobile sur le quel est posé un ordinateur, centre de contrôle qui permet de choisir le protocole adapté en fonction de la pathologie rencontrée (Figure 18 et 19) ;
- un bras articulé permettant d'orienter les différents panneaux émetteurs sur les tissus cibles (Figure 20).

Dans l'ordinateur, une liste d'indications est proposée. A chaque indication correspond un protocole avec les paramètres du laser adapté et un temps bien déterminé.

La séance peut durer entre 6 à 15 minutes selon le traitement déterminé avec le praticien.



*Figure 18 : Photographie d'un laser type LLLT (ATP38), photographie personnelle.*





*Figure 19 : Photographie d'un laser type LLLT (ATP 38), photographie personnelle.*



*Figure 20 : Photographie des panneaux d'exposition de l'ATP 38, photographie personnelle.*

## 6 Conclusion

Plus connue aujourd'hui sous le nom de « photobiomodulation », le terme LLLT est amené à disparaître, le mot « low » étant jugé péjoratif et « laser » inexact avec l'application croissante des LED.

Au vu de l'évolution sur ce sujet, et la multiplication des études, ce travail, qui consistait à faire une synthèse des applications de LLLT en odontologie, risque probablement de devenir obsolète dans un avenir proche.

De plus, le nombre important de paramètres, permettant des combinaisons différentes, empêche la comparaison entre les études et ne permet pas d'établir des recommandations précises pour chaque indication. Il serait par la suite nécessaire de réaliser une standardisation des paramètres.

Par ailleurs, le peu de recul clinique disponible demande une certaine précaution dans son utilisation. Des études sur les effets à long terme devront être conduites pour écarter tout risque indésirable grave.

Pour conclure, il faudrait, de manière générale, une plus grande rigueur dans la conduite des études pour établir un niveau de preuves solides pour chaque indication.

Sa facilité d'application, la brièveté du traitement et le peu de contre-indications confèrent à ce laser des propriétés très attractives. LLLT pourrait être une alternative à certains traitements jugés trop invasifs et dont les effets indésirables dépassent les bénéfices apportés. Qu'elle soit utilisée en traitement seul, en complément ou en alternative, la thérapie par laser de basse énergie a des résultats très prometteurs dans de nombreuses indications en odontologie.

## Références bibliographiques

1. Alhabib MSE. Laser photobiomodulation in dentistry. 2017;13.
2. Al-Maweri SA, Kalakonda B, AlAizari NA, Al-Soneidar WA, Ashraf S, Abdulrab S, et al. Efficacy of low-level laser therapy in management of recurrent herpes labialis: a systematic review. *Lasers Med Sci.* 2018;33(7):1423-30.
3. Al-Maweri SA, Kalakonda B, Al-Soneidar WA, Al-Shamiri HM, Alakhali MS, Alaizari N. Efficacy of low-level laser therapy in management of symptomatic oral lichen planus: a systematic review. *Lasers Med Sci.* 2017;32(6):1429-37.
4. Amorim JCF, de Sousa GR, de Barros Silveira L, Prates RA, Pinotti M, Ribeiro MS. Clinical study of the gingiva healing after gingivectomy and low-level laser therapy. *Photomed Laser Surg.* 2006;24(5):588-94.
5. Ando T, Xuan W, Xu T, Dai T, Sharma SK, Kharkwal GB, et al. Comparison of therapeutic effects between pulsed and continuous wave 810-nm wavelength laser irradiation for traumatic brain injury in mice. El Khoury J, éditeur. *PLoS ONE.* 2011;6(10):e26212.
6. Andrade I, Sousa AB dos S, da Silva GG. New therapeutic modalities to modulate orthodontic tooth movement. *Dent Press J Orthod.* 2014;19(6):123-33.
7. Ang Khaw CM, Dalci O, Foley M, Petocz P, Darendeliler MA, Papadopoulou AK. 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. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018;154(3):326-36.
8. Anschau F, Webster J, Capra MEZ, de Azeredo da Silva ALF, Stein AT. Efficacy of low-level laser for treatment of cancer oral mucositis: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2019;34(6):1053-62.
9. Ayyildiz S, Emir F, Sahin C. Evaluation of low-level laser therapy in TMD patients. *Case Rep Dent.* 2015;2015:1-6.
10. Barolet D, Duplay P, Jacomy H, Auclair M. Importance of pulsing illumination parameters in low-level-light therapy. *J Biomed Opt.* 2010;15(4):048005.
11. Bensadoun R-J. Photobiomodulation or low-level laser therapy in the management of cancer therapy-induced mucositis, dermatitis and lymphedema. *Curr Opin Oncol.* 2018;1.
12. Bittencourt M-A-V, Paranhos L-R, Martins-Filho P-R-S. Low-level laser therapy for treatment of neurosensory disorders after orthognathic surgery: A systematic review of randomized clinical trials. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2017;22(6):e780-7.
13. Bolton P, Young S, Dyson M. The direct effect of 860 nm light on cell proliferation and on succinic deshydrogenase activity of human fibroblasts invitro. *LASER Ther.* 1995;7(2):55-60.
14. Brocklehurst P, Tickle M, Glenny A-M, Lewis MA, Pemberton MN, Taylor J, et al. Systemic interventions for recurrent aphthous stomatitis (mouth ulcers). *Cochrane Database Syst Rev.* 2012;(9).
15. Brondon P, Stadler I, Lanzafame RJ. Pulsing influences photoradiation outcomes in cell culture. *Lasers Surg Med.* 2009;41(3):222-6.
16. Camacho AD, Cujar SAV. Dental movement acceleration: Literature review by an alternative scientific evidence method. *World J Methodol.* 2014;4(3):151-62.
17. Carroll JD, Milward MR, Cooper PR, Hadis M, Palin WM. Developments in low level light therapy (LLLT) for dentistry. *Dent Mater.* 2014;30(5):465-75.
18. Chang W-D, Lee C-L, Lin H-Y, Hsu Y-C, Wang C-J, Ping-Tung Lai. A meta-analysis of clinical effects of low-level laser therapy on temporomandibular joint pain. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(8):1297-300.
19. Chen J, Huang Z, Ge M, Gao M. Efficacy of low-level laser therapy in the treatment

- of TMDs: a meta-analysis of 14 randomised controlled trials. *J Oral Rehabil.* 2015;42(4):291-9.
20. Chen Y, Liu C, Chen X, Mo A. Clinical evidence of photobiomodulation therapy (PBMT) on implant stability and success: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health.* 2019;19(1):77.
  21. Chung H, Dai T, Sharma SK, Huang Y-Y, Carroll JD, Hamblin MR. The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy. *Ann Biomed Eng.* févr 2012;40(2):516-33.
  22. Commissariat à l'énergie atomique . Direction de la communication et des affaires publiques. *Le laser: un concentré de lumière : de la création d'un faisceau à ses applications.* Paris, France: Commissariat à l'énergie atomique.; 2003. 27 p.
  23. Cotler HB, Chow RT, Hamblin MR, Carroll J. The Use of Low Level Laser Therapy (LLLT) For Musculoskeletal Pain. *MOJ Orthop Rheumatol.* 2015;2(5).
  24. Deana NF, Zaror C, Sandoval P, Alves N. Effectiveness of Low-Level Laser Therapy in Reducing Orthodontic Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pain Res Manag.* 2017;2017:8560652.
  25. Denis M. Structure and function of cytochrome-c oxidase. *Biochimie.* 1986;68(3):459-70.
  26. Dougal G, Lee SY. Evaluation of the efficacy of low-level light therapy using 1072 nm infrared light for the treatment of herpes simplex labialis. *Clin Exp Dermatol.* 2013;n/a-n/a.
  27. Elad S, Arany P, Bensadoun R-J, Epstein JB, Barasch A, Raber-Durlacher J. Photobiomodulation therapy in the management of oral mucositis: search for the optimal clinical treatment parameters. *Support Care Cancer.* 2018;26(10):3319-21.
  28. Elbay M, Tak Ö, Şermet Elbay Ü, Kaya C, Eryılmaz K. The use of low-level laser therapy for controlling the gag reflex in children during intraoral radiography. *Lasers Med Sci.* 2016;31(2):355-61.
  29. Etemadi A, Sadeghi M, Dadjou MH. The effects of low level 660nm laser irradiation on pain and teeth hypersensitivity after periodontal surgery. In 2011.
  30. Farivar S, Malekshahi T, Shiari R. Biological Effects of Low Level Laser Therapy. *J Lasers Med Sci.* 2014;5(2):58-62.
  31. de Freitas LF, Hamblin MR. Proposed mechanisms of photobiomodulation or low-level light therapy. *IEEE J Sel Top Quantum Electron Publ IEEE Lasers Electro-Opt Soc.* 2016;22(3).
  32. Führer-Valdivia A, Noguera-Pantoja A, Ramírez-Lobos V, Solé-Ventura P. Low-level laser effect in patients with neurosensory impairment of mandibular nerve after sagittal split ramus osteotomy. Randomized clinical trial, controlled by placebo. *Med Oral Patol Oral Cirurgia Bucal.* 2014;19(4):e327-334.
  33. Ge MK, He WL, Chen J, Wen C, Yin X, Hu ZA, et al. Efficacy of low-level laser therapy for accelerating tooth movement during orthodontic treatment: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2015;30(5):1609-18.
  34. Genc G, Kocadereli I, Tasar F, Kilinc K, El S, Sarkarati B. Effect of low-level laser therapy (LLLT) on orthodontic tooth movement. *Lasers Med Sci.* 2013;28(1):41-7.
  35. Goel H, Mathur S, Sandhu M, Jhingan P, Sachdev V. Effect of low-level laser therapy on P6 acupoint to control gag reflex in children : a clinical trial. *J Acupunct Meridian Stud.* 2017;10(5):317-23.
  36. Goyal M, Makkar S, Pasricha S. Low level laser therapy in dentistry. *Int J Laser Dent.* 2013;3:82-8.
  37. Gupta S, Jawanda MK. Oral lichen planus: an update on etiology, pathogenesis, clinical presentation, diagnosis and management. *Indian J Dermatol.* 2015;60(3):222-9.
  38. Hamblin MR. Photobiomodulation or low-level laser therapy. *J Biophotonics.* 2016;9(11-12):1122-4.
  39. Han M, Fang H, Li Q-L, Cao Y, Xia R, Zhang Z-H. Effectiveness of laser therapy in

- the management of recurrent aphthous stomatitis: a systematic review. *Scientifica*. 2016;2016:9062430.
40. Hawkins DH, Abrahamse H. The role of laser fluence in cell viability, proliferation, and membrane integrity of wounded human skin fibroblasts following helium-neon laser irradiation. *Lasers Surg Med*. 2006;38(1):74-83.
  41. Hoseinpour Jajarm H, Asadi R, Bardideh E, Shafae H, Khazaei Y, Emadzadeh M. The effects of photodynamic and low-level laser therapy for treatment of oral lichen planus—A systematic review and meta-analysis. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2018;23:254-60.
  42. Huang Y-Y, Chen AC-H, Carroll JD, Hamblin MR. Biphasic dose response in low level light therapy. *Dose-Response*. 2009;7(4):dose-response.0.
  43. Jenkins PA, Carroll JD. How to Report Low-Level Laser Therapy (LLLT)/Photomedicine Dose and Beam Parameters in Clinical and Laboratory Studies. *Photomed Laser Surg*. 2011;29(12):785-7.
  44. Karu TI. How the absorption of monochromatic visible to near IR radiation by cells leads to their biological responses. In: *Energy and information transfer in biological systems* [Internet]. Acireale, Catania, Italy: WORLD SCIENTIFIC; 2003 [consulté le 12 févr 2019]. p.148-56. Disponible sur: [http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789812705181\\_0007](http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789812705181_0007)
  45. Karu TI, Afanas'eva NI. Cytochrome c oxidase as the primary photoacceptor upon laser exposure of cultured cells to visible and near IR-range light. *Dokl Akad Nauk*. juin 1995;342(5):693-5.
  46. Kathuria V, Dhillon JK, Kalra G. Low Level Laser Therapy: A Panacea for oral maladies. *Laser Ther*. 2015;24(3):215-23.
  47. Kohale BR, Agrawal AA, Raut CP. Effect of low-level laser therapy on wound healing and patients' response after scalpel gingivectomy: A randomized clinical split-mouth study. *J Indian Soc Periodontol*. oct 2018;22(5):419-26.
  48. Kutvölgyi I. Low level laser therapy as a diagnostic tool in dentistry. *LASER Ther*. 1998;10:79-81.
  49. Lalla RV, Bowen J, Barasch A, Elting L, Epstein J, Keefe DM, et al. MASCC/ISOO clinical practice guidelines for the management of mucositis secondary to cancer therapy. *Cancer*. 2014;120(10):1453-61.
  50. de Lima FM, Moreira LM, Villaverde AB, Albertini R, Castro-Faria-Neto HC, Aimbire F. Low-level laser therapy (LLLT) acts as cAMP-elevating agent in acute respiratory distress syndrome. *Lasers Med Sci*. 2011;26(3):389-400.
  51. Lončar B, Stipetić MM, Baričević M, Risović D. The effect of low-level laser therapy on salivary glands in patients with xerostomia. *Photomed Laser Surg*. mars 2011;29(3):171-5.
  52. Long H, Zhou Y, Xue J, Liao L, Ye N, Jian F, et al. The effectiveness of low-level laser therapy in accelerating orthodontic tooth movement: a meta-analysis. *Lasers Med Sci*. avr 2015;30(3):1161-70.
  53. Lopes CB, Pinheiro ALB, Sathaiah S, Da Silva NS, Salgado MAC. Infrared laser photobiomodulation (lambda 830 nm) on bone tissue around dental implants: a Raman spectroscopy and scanning electronic microscopy study in rabbits. *Photomed Laser Surg*. 2007;25(2):96-101.
  54. Metin R, Tatli U, Evlice B. Effects of low-level laser therapy on soft and hard tissue healing after endodontic surgery. *Lasers Med Sci*. 2018;33(8):1699-706.
  55. Miloro M, Criddle T-R. Does low-level laser therapy affect recovery of lingual and inferior alveolar nerve injuries? *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2018;76(12):2669-75.
  56. Mokeem S. Efficacy of adjunctive low-level laser therapy in the treatment of aggressive periodontitis: A systematic review. *J Investig Clin Dent*. 2018;9(4):e12361.
  57. Mutafchieva MZ, Draganova-Filipova MN, Zagorchev PI, Tomov GT. Effects of low

- level laser therapy on erosive-atrophic oral lichen planus. *Folia Med (Plovdiv)*. 2018;60(3):417-24.
58. de Oliveira RF, de Andrade Salgado DMR, Trevelin LT, Lopes RM, da Cunha SRB, Aranha ACC, et al. Benefits of laser phototherapy on nerve repair. *Lasers Med Sci*. 2015;30(4):1395-406.
59. Ozcelik O, Cenk Haytac M, Kunin A, Seydaoglu G. Improved wound healing by low-level laser irradiation after gingivectomy operations: a controlled clinical pilot study. *J Clin Periodontol*. 2008;35(3):250-4.
60. Passarella S, Karu T. Absorption of monochromatic and narrow band radiation in the visible and near IR by both mitochondrial and non-mitochondrial photoacceptors results in photobiomodulation. *J Photochem Photobiol B*. 2014;140:344-58.
61. Pavlić V. [The effects of low-level laser therapy on xerostomia (mouth dryness)]. *Med Pregl*. 2012;65(5-6):247-50.
62. Ren C, McGrath C, Jin L, Zhang C, Yang Y. The effectiveness of low-level laser therapy as an adjunct to non-surgical periodontal treatment: a meta-analysis. *J Periodontal Res*. 2017;52(1):8-20.
63. Ren C, McGrath C, Yang Y. The effectiveness of low-level diode laser therapy on orthodontic pain management: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci*. 2015;30(7):1881-93.
64. Rennie JS, Reade PC, Hay KD, Scully C. Recurrent aphthous stomatitis. *Br Dent J*. 1985;159(11):361-7.
65. Reusser P. Herpesvirus resistance to antiviral drugs: a review of the mechanisms, clinical importance and therapeutic options. *J Hosp Infect*. 1996;33(4):235-48.
66. Rocca J-P, Augros C, Bertrand-Flamand C, Bertrand M-F. *Les lasers en odontologie*. Rueil-Malmaison, France: Editions CdP; 2008. x+95.
67. Ross DG. This issue features photobiomodulation (PBM). :48.
68. Ross G. Photobiomodulation in dentistry. *Photomed Laser Surg*. oct 2012;30(10):565-7.
69. Saquib S, Jadhav V, Priyanka N, Perla N. Low-level laser therapy in dentistry: A review. :3.
70. Schindl A, Neumann R. Low-intensity laser therapy is an effective treatment for recurrent herpes simplex infection. results from a randomized double-blind placebo-controlled study. *J Invest Dermatol*. 1999;113(2):221-3.
71. Schwob C, Julien L. Le laser : principe de fonctionnement. *Reflets Phys*. 2010;(21):12-6.
72. Sgolastra F, Petrucci A, Gatto R, Monaco A. Effectiveness of laser in dentinal hypersensitivity treatment: a systematic review. *J Endod*. 2011;37(3):297-303.
73. Sgolastra F, Petrucci A, Severino M, Gatto R, Monaco A. Lasers for the treatment of dentin hypersensitivity: a meta-analysis. *J Dent Res*. 2013;92(6):492-9.
74. Sommer AP. Revisiting the photon/cell interaction mechanism in low-level light therapy. *Photobiomodulation Photomed Laser Surg*. 2019;37(6):336-41.
75. Sommer AP, Pinheiro ALB, Mester AR, Franke R-P, Whelan HT. Biostimulatory Windows in Low-Intensity Laser Activation: Lasers, Scanners, and NASA's Light-Emitting Diode Array System. *J Clin Laser Med Surg*. 2001;19(1):29-33.
76. Stéphan J-M. *Laser de faible puissance et utilisation en acupuncture : principes physiques et mécanismes d'action*. 2014;9.
77. Suter VGA, Sjölund S, Bornstein MM. Effect of laser on pain relief and wound healing of recurrent aphthous stomatitis: a systematic review. *Lasers Med Sci*. 2017;32(4):953-63.
78. Tang E, Arany P. Photobiomodulation and implants: implications for dentistry. *J Periodontal Implant Sci*. 2013;43(6):262.

79. Truelove SC, Morris-Owen RM. Treatment of aphthous ulceration of the mouth. *Br Med J.* 1958;1(5071):603-7.
80. Ueda Y, Shimizu N. Pulse irradiation of low-power laser stimulates bone nodule formation. *J Oral Sci.* 2001;43(1):55-60.
81. Vadlapudi AD, Vadlapatla RK, Mitra AK. Update on emerging antivirals for the management of herpes simplex virus infections: a patenting perspective. *Recent Patents Anti-Infect Drug Disc.* 2013;8(1):55-67.
82. Vidović Juras D, Lukač J, Cekić-Arambašin A, Vidović A, Canjuga I, Sikora M, et al. Effects of Low-Level Laser Treatment on Mouth Dryness. *Coll Antropol.* 2010;34(3):1039-43.
83. Walsh LJ. The current status of low level laser therapy in dentistry, Part 1. Soft tissue applications. *Aust Dent J.* 1997;42(4):247-54.
84. Walsh LJ. The current status of low level laser therapy in dentistry. Part 2. Hard tissue applications. *Aust Dent J.* 1997;42(5):302-6.
85. Wieckiewicz M, Boening K, Wiland P, Shiao Y-Y, Paradowska-Stolarz A. Reported concepts for the treatment modalities and pain management of temporomandibular disorders. *J Headache Pain.* 2015;16:106.
86. Xu G-Z, Jia J, Jin L, Li J-H, Wang Z-Y, Cao D-Y. Low-level laser therapy for temporomandibular disorders: a systematic review with meta-analysis. *Pain Res Manag.* 2018;2018:4230583.
87. Yilmaz HG, Kurtulmus-Yilmaz S, Cengiz E, Bayindir H, Aykac Y. Clinical evaluation of Er,Cr:YSGG and GaAlAs laser therapy for treating dentine hypersensitivity: A randomized controlled clinical trial. *J Dent.* 2011;39(3):249-54.
88. Les lasers en odontologie [Internet]. LEFILDENTAIRE magazine dentaire. 2013 [consulté le 4 avr 2019]. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/pratique/au-fil-des-conferences/les-lasers-en-odontologie/>

## Tables des illustrations

Figure 1 : Les spectres d'émission des principaux lasers, extrait de l'article de Frédéric Gaultier [89].	17
Figure 2 : Schéma de l'absorption [77].	18
Figure 3 : Schéma de l'émission stimulée [77].	18
Figure 4 : Schéma simplifié du fonctionnement d'un laser [72].	19
Figure 5 : Schéma du mécanisme cellulaire de LLLT, d'après Carroll et al. [18].	21
Figure 6 : Courbe de la réponse en fonction de la dose [76].	29
Figure 7 : Photographies endobuccales d'un lichen plan érosif avant/après (A/B) traitement par LLLT [58].	35
Figure 8 : Photographies endobuccales d'un patient ayant eu recours à une gingivectomie avec traitement LLLT (pré opératoire (a), immédiat (b), application LLLT (c), post opératoire 3 <sup>e</sup> jour (d), au 7 <sup>e</sup> jour (e), au 15 <sup>e</sup> jour (f)) [60].	36
Figure 9 : Photographies endobuccales après résection apicale sur 22 d'un patient appartenant au groupe témoin [55].	37
Figure 10 : Photographies endobuccales après résection apicale sur 22 d'un patient appartenant au groupe laser [55].	37
Figure 11 : Images radiographiques pré- et post- opératoire d'une résection apicale sur 22 chez un patient du groupe témoin [55].	38
Figure 12 : Images radiographiques pré- et post- opératoire d'une résection apicale sur 13 chez un patient du groupe laser [55].	38
Figure 13 : Photographie d'une application de LLLT chez un patient suivant un traitement orthodontique [6].	41
Figure 14 : Diagramme représentant les scores VAS des différents groupes sur un suivi de 3 mois [88].	43
Figure 15 : Exemple 1 – Photographies exobuccales de l'ouverture buccale avant (A) et après (B) traitement par LLLT [10].	44
Figure 16 : Exemple 2 – Photographies exobuccales de l'ouverture buccale avant (A) et après (B) traitement par LLLT [10].	44
Figure 17 : Photographies de l'utilisation du LLLT au niveau du point d'acupuncture pour le traitement du réflexe nauséux [29].	45
Figure 18 : Photographie d'un laser type LLLT (ATP38), photographie personnelle.	48
Figure 19 : Photographie d'un laser type LLLT (ATP 38), photographie personnelle.	49
Figure 20 : Photographie des panneaux d'exposition de l'ATP 38, photographie personnelle.	49



## **Index des tables**

Tableau 1 : Caractéristiques des lasers utilisés dans l'étude de Yilmaz et al. ....	42
---	----

**Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année 2019 – N°:**

Thérapie par photobiomodulation (Low Level Laser Therapy) en odontologie /  
**LAMACHE Margot.**- p. 57 : ill. 20 ; réf. 88.

**Domaines** : Instrumentation et matériel

**Mots clés Rameau:** Odontostomatologie ; Cicatrisation

**Mots clés FMeSH:** Photothérapie de faible intensité ; Odontologie

**Mots clés libres** : LLLT (Low Level Laser Therapy) ; Photobiostimulation

Résumé de la thèse :

Le Low Level Laser Therapy est une technologie récente dont le champ d'application ne cesse d'augmenter. Son pouvoir bio-stimulant, anti-inflammatoire, cicatrisant et antalgique a suscité l'attention de nombreux chercheurs.

L'objectif de ce travail était de démontrer l'intérêt de l'utilisation de LLLT dans le domaine de l'odontologie et de fournir une liste non exhaustive de ses indications. Il est principalement utilisé actuellement pour diminuer le temps de traitement orthodontique et en post-opératoires pour potentialiser la cicatrisation des plaies.

En thérapie complémentaire ou seul, il a aujourd'hui sa place dans la pratique quotidienne du chirurgien dentiste.

**JURY** :

**Président : Professeur Deveaux**

**Assesseurs : Docteur Mayer**

**Docteur Boschin**

**Docteur Champagne**