

Sommaire

INTRODUCTION	1
I. LE LASER	2
1. La lumière	2
1.1. Définition	2
1.2. Le spectre électromagnétique	2
1.3. La lumière blanche	2
1.4. La lumière laser	2
2. Principe de fonctionnement d'un laser	3
2.1. Rappels physiques	3
2.2. Absorption, émission spontanée, émission stimulée	3
2.3. Notion de pompage et composition d'une source de rayonnement laser	4
2.4. Notion de puissance et d'énergie	4
2.5. Propriétés optiques des tissus biologiques	5
3. Odontologie et laser	5
3.1. Les différents types de laser	5
3.2. Applications	6
4. Orthodontie et laser	7
4.1. Lasers haute énergie	7
4.1.1. Utilisation sur les tissus mous	7
a. Traitement de l'hyperplasie gingivale	7
b. Freinectomie labiale supérieure	7
c. Freinectomie linguale	8
d. Dégagement de couronne	8
4.1.2. Utilisation sur les tissus durs	8
a. Préparation amélaire	8
b. Dépose des attaches orthodontiques	9
4.2. Lasers basse énergie	9
II. Low level laser therapy	10
1. Qu'est-ce que la Low level laser therapy	10
1.1. Définition	10
1.2. Appellations	10
1.3. Paramètres	11
1.4. Réponse bi-phasique et effet dose-dépendant	12
1.5. Sécurité	12
2. Effets biologiques	13
2.1. Effets cellulaires	13
2.2. Effets tissulaires	14
3. Laser ou LEDs	14
III. Douleur et LLLT	15
1. La douleur	15
1.1. Définition	15
1.2. Physiopathologie	15
1.3. Evaluation	16
1.3.1. Auto-évaluation	17
a. Échelle visuelle analogique (EVA)	17
b. Échelle numérique	17
c. Échelle visuelle simple	17
d. Echelle des visages de Bieri et échelle des visages de Wong-Baker	17
e. Echelle de Melzack (QDSA)	17
1.3.2. Hétéro-évaluation	17
a. Children's Hospital of Eastern Ontario Pain Scale (CHEOPS)	17
b. Evaluation ENfant DOuLeur (EVENDOL)	17
1.3.3. Classification adaptée à l'orthodontie	18

2.	Douleur en orthodontie	18
2.1.	Description	18
2.2.	Facteurs influençants.....	19
2.3.	Conséquences	20
2.4.	Traitements.....	20
2.4.1.	Prise en charge pharmacologique	20
2.4.2.	Prise en charge non pharmacologique.....	21
3.	Douleur et Low-level laser therapy en orthodontie.	22
3.1.	Les études	22
3.1.1.	LLLT et pose de séparateurs élastomériques	22
3.1.2.	LLLT et mise en place d'un arc orthodontique	26
3.1.3.	LLLT et mécanique de rétraction	29
3.1.4.	Revue systématique	33
3.2.	Paramètres d'utilisation de la LLLT pour réduire la douleur.....	35
IV.	Accélération du déplacement dentaire et LLLT	36
1.	Le déplacement dentaire	36
1.1.	Remaniement physiologique du parodonte	36
1.2.	Remaniement thérapeutique du parodonte et déplacement dentaire	37
1.2.1.	Cinétique du déplacement	37
1.2.2.	Aspect tissulaire	38
a.	Théorie de la pression/tension :.....	38
b.	Théorie de la courbure alvéolaire.....	38
1.2.3.	Aspect cellulaire	39
a.	Effets biologiques immédiats	39
b.	Effets biologiques à court terme	40
c.	Effets biologiques à long terme.....	40
2.	Accélération du déplacement dentaire.....	41
2.1.	Intérêts	41
2.2.	Méthodes.....	42
2.2.1.	Les moyens chirurgicaux	42
a.	Les techniques invasives	42
b.	Les techniques minimalement invasives	42
2.2.2.	Les stimuli chimiques	43
2.2.3.	Les stimuli physiques.....	43
3.	Accélération du déplacement dentaire par LLLT	44
3.1.	Mécanisme.....	44
3.2.	Intérêts	44
3.3.	Revue de la littérature.....	44
3.3.1.	Les études	45
a.	LLLT en association ou en comparaison à d'autres techniques.....	45
b.	LLLT et rétraction en masse.....	46
c.	LLLT et rétraction canine	46
d.	LLLT et expansion palatine	49
e.	Effet de la LLLT sur l'alignement dentaire	49
f.	Recherche des paramètres optimaux d'utilisation de la LLLT	50
g.	Revue systématique	51
	CONCLUSION	52
	BIBLIOGRAPHIE	

INTRODUCTION

Depuis les travaux d'Einstein en 1917 sur l'émission stimulée, les applications médicales du laser n'ont cessé d'évoluer.

Il trouve sa place dans l'arsenal thérapeutique du Chirurgien-Dentiste, en chirurgie buccale et implantaire, en endodontie ainsi qu'en odontologie conservatrice.

Ses indications pour notre spécialité qu'est l'orthopédie dento-faciale se limitent actuellement aux actes dits de petite chirurgie (gingivectomie, frénectomie, dégagement canin...).

Mais, le laser peut être utilisé à basse puissance afin de modifier le comportement cellulaire, c'est la Low Level Laser Therapy (LLLT).

Son utilisation pour ses vertus biostimulantes grâce à la LLLT n'est que très limitée en pratique quotidienne.

Les études sont nombreuses concernant les applications de la LLLT en orthodontie, la gestion de la douleur et l'accélération du déplacement dentaire en sont les principales.

L'objectif de notre travail est de passer en revue la littérature scientifique des 5 dernières années afin de comprendre pourquoi la LLLT ne fait pas partie intégrante de l'arsenal thérapeutique de l'orthodontiste.

Nous rappellerons le fonctionnement des lasers et de la LLLT dans un premier temps, puis nous aborderons la place de la LLLT dans la gestion de la douleur au cabinet d'orthodontie ainsi que son intérêt thérapeutique dans l'accélération du déplacement dentaire.

I. LE LASER

1. La lumière

1.1. Définition

La lumière est une onde électromagnétique. Elle associe un champ électrique et un magnétique, c'est le champ électromagnétique.

Ils oscillent à la même fréquence et se déplacent à la vitesse de la lumière ou célérité (c).

La fréquence (ν) correspond au nombre d'oscillations par seconde.

La vitesse de la lumière est une constante universelle fixée à 299 972 458 m/s.

La longueur d'une onde électromagnétique (λ) est définie selon la formule c/ν avec pour unité le mètre (m) (103).

1.2. Le spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique rassemble et répartit l'ensemble des ondes électromagnétiques selon leur fréquence, leur longueur d'onde, leur énergie.

Il s'étend depuis des longueurs d'onde de l'ordre du centième de nanomètre et en-dessous (rayons cosmiques, rayons gamma, rayons X) jusqu'aux longueurs d'onde de l'ordre du kilomètre et au-dessus (ondes radio).

Le domaine du visible s'étend de 375 nm (violet) à 775 nm (rouge), le reste du spectre n'est pas visible par l'Homme (91).

1.3. La lumière blanche

La lumière blanche est composée d'un mélange de couleurs dont les longueurs d'onde sont comprises entre 375 nm et 775 nm (domaine visible du spectre électromagnétique), il s'agit des couleurs de l'arc-en-ciel. Par ordre croissant : violet, bleu, vert, jaune, orange, rouge ; on les obtient par décomposition de la lumière à travers une goutte d'eau ou un prisme (91)(103).

1.4. La lumière laser

La lumière laser n'existe pas naturellement. Elle est fabriquée par des appareils amplificateurs de lumière par émission de radiation (91).

Elle est caractérisée par :

- Sa cohérence spatiale (rayons parallèles, localisés, fins et directs) ;
- Sa cohérence temporelle c'est à dire sa monochromaticité (tous les photons ont la même longueur d'onde) (103).

2. Principe de fonctionnement d'un laser.

2.1. Rappels physiques

L'atome est l'élément constitutif de la matière. Chaque atome est composé d'un noyau et d'électrons. Ces derniers gravitent autour du noyau. Ils se répartissent sous forme de couches qui représentent des niveaux d'énergie. Plus la couche est proche du noyau, plus le niveau d'énergie sera faible, plus elle est éloignée du noyau plus le niveau d'énergie sera élevé. Les couches sont caractérisées par un nombre quantique « n » supérieur ou égal à 1, plus la couche est proche du noyau plus n est proche de 1 (92).

Un photon est une particule de lumière. Un rayonnement électromagnétique est constitué d'un flux de photons (92).

2.2. Absorption, émission spontanée, émission stimulée.

Il existe différentes réactions photoniques avec l'atome :

- l'absorption ;
- l'émission spontanée ;
- l'émission stimulée (92).

L'absorption se produit lorsqu'un atome absorbe un photon. Un de ses électrons rejoint le niveau d'énergie supérieur et donc une couche plus éloignée du noyau. L'atome est dans un état dit « excité » (E1).

L'émission spontanée a été décrite par Neils Bohr en 1913, un atome excité retourne spontanément à son état stable. L'électron qui avait rejoint une couche d'énergie supérieur retombe à son état initial (proche du noyau). L'atome renvoie la même quantité d'énergie que celle qui a été absorbée, il émet un photon et donc de la lumière (E0).

L'émission stimulée se réalise quand un photon supplémentaire est absorbé par un atome qui est déjà dans un état excité (E1), la situation est alors très instable et l'atome retourne à son état d'énergie faible (E0) en émettant simultanément toutes les énergies absorbées, dans ce cas 2 photons (91)(92).

2.3. Notion de pompage et composition d'une source de rayonnement laser

Un dispositif qui permet de générer l'effet laser comporte trois éléments principaux :

- Une cavité optique résonnante : deux miroirs réfléchissants qui s'affrontent de part et d'autre du milieu actif pour former une caisse de résonance. Un des deux miroirs est semi réfléchissant ;
- Un milieu émetteur ou milieu actif : il comporte les atomes à exciter, il peut être solide, gazeux ou liquide ;
- Une source de pompage (source d'énergie) : elle stimule le milieu actif pour créer une inversion de population c'est à dire une excitation des atomes (80)(91)(92).

Le fonctionnement est le suivant :

Étape 1 : La source d'énergie stimule les électrons du milieu actif, elle « pompe » les électrons à de hauts niveaux d'énergie.

Étape 2 : Un photon est injecté dans le milieu, cela entraîne lors de la désexcitation d'un des atomes, l'émission de deux photons (Emission stimulée).

Étape 3 : Le rayonnement lumineux produit se réfléchit entre les deux miroirs. Il s'intensifie et entretient le phénomène.

Étape 4 : L'un des miroirs étant semi-réfléchissant, il permet de relâcher le faisceau laser. La source d'énergie étant toujours active, le rayonnement continuant de se réfléchir entre les deux miroirs, le phénomène s'auto-entretient, il s'agit d'une réaction en chaîne.

Seuls sortiront de la cavité résonnante, par le miroir semi-réfléchissant, les photons strictement cohérents et uniquement unidirectionnels, il s'agit du rayonnement laser (91)(92).

2.4. Notion de puissance et d'énergie

La puissance de sortie d'un laser se mesure en Watt.

L'énergie de sortie d'un laser se mesure en Joule.

Une exposition à 1 Watt pendant 1 seconde correspond à 1 Joule.

La fluence d'un laser est l'énergie mesurée sur une surface de 1cm^2 : elle est égale à 1 watt par seconde par cm^2 et s'exprime en joule/cm^2 .

À puissance égale, plus la surface sur laquelle est délivrée l'énergie est petite, plus la fluence est élevée et plus la quantité d'énergie reçue par le tissu est grande.

Inversement, plus la surface recevant l'énergie est étendue, plus la fluence est basse et plus la quantité d'énergie reçue par le tissu sera faible (92).

2.5. Propriétés optiques des tissus biologiques

Lorsqu'un faisceau laser irradie un tissu, une part du rayonnement est absorbée (majoritaire), le reste est réfléchi ou diffusé. Ceci est la base du mécanisme thérapeutique du laser (28).

3. Odontologie et laser

3.1. Les différents types de laser

On peut classer les lasers selon différentes caractéristiques :

- Le type d'émission (Spontanée/stimulée) ;
- La puissance (Elevée, moyenne, basse) ;
- Le milieu actif (Liquide/gazeux/solide) ;
- Le tissu cible (Dur/mou) ;
- Les dommages biologiques potentiels : Classe I / II / III / IV (80).

Ici nous classerons les lasers en cinq familles selon la nature du milieu actif (92) :

- Les lasers à solide : Grenat d'yttrium-aluminium dopé au néodyme (Nd:YAG), Laser Erbium YAG... ;
- Les lasers à gaz : CO₂, Hélium-Neon (He-Ne) ;
- Les lasers à électrons libres (LEL) : essentiellement utilisés pour la recherche ;
- Les lasers à colorants ;
- Les lasers à semi-conducteurs : Diode laser.

Les lasers les plus fréquemment utilisés en odontologie (80)(91) ont des longueurs d'onde comprises entre 488 nm et 10 600 nm, sont concernés :

- Le laser He-Ne : 633 nm ;

- Le diode ou lasers à semi-conducteurs : entre 800 et 1000 nm (proche infra rouge) ;
- Le laser Nd:YAG : 1064 nm (infra rouge) ;
- Le laser pérovskite d'yttrium et d'aluminium dopé au néodyme (Nd:YAP) : 1340 nm ;
- Le laser grenat d'aluminium d'yttrium dopé à l'erbium (Er:YAG) : 2940 nm ;
- Le laser CO₂ : Il émet à une longueur d'onde de 10 600 nm.

Le rayonnement laser sera absorbé par certains tissus en fonction de sa longueur d'onde.

Un laser de longueur d'onde déterminée ne sera pas ou peu absorbé par certains tissus, et pourra céder progressivement son énergie en profondeur alors que pour une autre longueur d'onde il ne pourra pas traverser ces mêmes tissus.

La longueur d'onde est primordiale pour orienter l'effet biologique du rayonnement laser (91).

3.2. Applications

Le laser peut avoir des effets intéressants en odontologie (91) :

- Effet photo ablatif (vaporisation sans saignement) ;
- Effet thermique de carbonisation (effet indésirable entraînant une nécrose cellulaire) ;
- Effet thermique de coagulation ;
- Effet thermique de vasodilatation ;
- Effet photochimique (permet la décontamination via l'activation d'un composé déposé au niveau de la zone contaminée comme l'eau oxygénée) ;
- Effet biostimulant (anti-inflammatoire, cicatrisant...) ;
- Effet mécanique (activation mécanique d'une solution d'irrigation canalaire en endodontie).

Le laser trouve un rôle dans différents aspects de l'odontologie (92), tel que :

- L'orthodontie : préparation amélaire pour collage des attaches, chirurgie pré et per orthodontique, accélération du déplacement dentaire, antalgie ;
- L'odontologie conservatrice : détection des caries, préparation cavitaire, préparation amélaire au collage ;
- La pédodontie : préparation des sillons au scellement, préparation cavitaire, coiffage pulpaire et pulpotomie, chirurgie des tissus mous ;

- L'endodontie : traitement de l'hypersensibilité dentinaire, diagnostic pulpaire, coiffage pulpaire et pulpotomie, endodontie assistée ;
- L'odontologie prothétique : préparation sulculaire, approfondissement vestibulaire, élongation coronaire, soudage laser, préparation des surfaces de collage ;
- La chirurgie orale : chirurgie des tissus mous, exérèse de pathologies orales bénignes, chirurgie osseuse, aide à la cicatrisation ;
- La parodontologie : chirurgie des tissus mous, décontamination des surfaces, gestion des péri-implantites, aide à la cicatrisation ;
- L'esthétique : activation thermique des gels d'éclaircissement dentaire.

4. Orthodontie et laser

4.1. Lasers haute énergie

4.1.1. Utilisation sur les tissus mous

a. Traitement de l'hyperplasie gingivale

L'orthodontiste est fréquemment confronté à l'hyperplasie et l'hypertrophie gingivale au cours de sa pratique. Le matériel orthodontique (attaches orthodontiques, bagues, fil, minivis, chaînettes...) est un facteur de rétention de plaque mais également un obstacle à l'hygiène bucco-dentaire. Le patient doit redoubler d'effort pour obtenir un brossage de qualité.

Le laser permet de réaliser des gingivectomies au fauteuil pour traiter les situations les plus critiques. La limitation du saignement, la diminution du risque de récession et la réduction de la douleur en font un outil de choix pour l'orthodontiste.

Le laser permet un retour à une hygiène bucco-dentaire optimale dans les heures qui suivent son application.

(45)(91)

b. Freinectomie labiale supérieure (74)(91)(92)

La classification de Placek définit 4 types de frein labial :

Type I : insertion en muqueuse alvéolaire ;

Type II : insertion en gencive attachée ;

Type III : insertion papillaire ;

Type IV : insertion rétroincisive.

Les types III et IV peuvent être pathologiques (risque de récession augmenté, hygiène bucco-dentaire difficile) et peuvent entraîner l'apparition d'un diastème inter incisif.

L'orthodontiste peut avoir recours au laser pour supprimer ce frein dans l'objectif de fermer un diastème ou de limiter les risques parodontaux. Il est indispensable d'y associer des exercices labiaux et linguaux pour éviter la coaptation des berges lors de la cicatrisation, et la réapparition d'un nouveau frein.

c. Freinectomie linguale (20)(56)(91)(92)

L'ankyloglossie peut être à l'origine d'une dysfonction linguale (déglutition atypique persistante, langue basse, tic de succion linguale), une ventilation orale et un trouble de la phonation.

Ces dysfonctions entraînent des dysmorphoses squelettiques et dento-alvéolaires.

La rééducation fonctionnelle du patient impose parfois une freinectomie pour rendre sa liberté de mouvement à la langue.

Le laser permet de réaliser cette chirurgie en limitant la douleur et le saignement, cette pratique est donc intéressante pour l'orthodontiste.

d. Dégagement de couronne (92)

Le protocole de collage d'une attache orthodontique nécessite une surface totalement sèche. Lors du dégagement chirurgical d'une dent, le saignement rend difficile l'étanchéité et compromet la qualité du collage. Le laser limite le saignement per et post opératoire, cette technique permettrait d'obtenir dans le même temps opératoire une surface coronaire accessible et un collage de qualité.

4.1.2. Utilisation sur les tissus durs

a. Préparation amélaire (56)(69)(90)(92)(117)

Le collage des attaches orthodontiques sur les surfaces dentaires impose un protocole strict. Le mordançage est la première étape. Il permet d'obtenir une surface amélaire rugueuse et micro fissurée afin d'augmenter l'interface émail/colle.

Habituellement le mordantage est réalisé à l'aide d'acide orthophosphorique à 37%. Il est appliqué pendant 30s, puis la dent est rincée et séchée.

Cependant la surface amélaire obtenue est sujette au processus carieux. Ainsi le risque carieux individuel (RCI) est augmenté.

Le recours au laser est possible pour préparer l'émail au collage. Il permet supprimer les étapes de rinçage et de séchage, de réduire le temps de travail, de minimiser l'aspect opérateur dépendant du protocole et d'obtenir une surface amélaire moins sensible au processus carieux.

Le manque de preuve ne nous permet pas de conclure à une meilleure interface et une plus grande force de collage avec un protocole par laser.

b. Dépose des attaches orthodontiques (69)(79)(84)(100)(101)

Actuellement les attaches orthodontiques sont déposées par action mécanique à l'aide d'une pince qui génère une force de cisaillement au niveau de l'interface de collage et entraîne une rupture de la résine.

Cette technique présente un inconvénient majeur : le risque d'altération de l'émail (fracture/fêlure/altération). La force de cohésion entre la dent et l'attache est augmentée en cas d'attaches céramiques, le risque de lésion de l'émail l'est donc aussi.

Il est possible d'utiliser le laser pour la dépose des attaches. En fonction de la température d'utilisation, on obtiendra un ramollissement ou une ablation de la résine.

Le laser permet de diminuer la force de retrait des attaches, de limiter le risque de lésion amélaire et de réduire le temps de travail au fauteuil (moins de fraisage de résine résiduelle). Cependant l'augmentation de température majore le risque de lésion pulpaire.

Il n'y a pas de consensus scientifique concernant les paramètres d'utilisation du laser sans risque de lésion pulpaire, les températures les plus faibles semblent être préférables. D'autres études sont nécessaires.

4.2. Lasers basse énergie

Les lasers basse énergie ont un effet sur la douleur et sur la vitesse du déplacement dentaire. Nous les développerons au cours des parties 2 et 3.

II. Low level laser therapy

1. Qu'est-ce que la Low level laser therapy

1.1. Définition

La Low level laser therapy ou LLLT est l'utilisation de lasers basse énergie émettant dans le rouge ou le proche infra-rouge (Near infrarouge ou N-IR) pour obtenir une conversion de l'énergie lumineuse en énergie métabolique et moduler le fonctionnement biologique de nos cellules.

Ses effets reposent sur un principe appelé «photobiomodulation» (58)(59)(115).

Ils permettent une réaction biologique sans altération des tissus et sans effet thermique (brûlure) (58).

La LLLT est une solution thérapeutique utilisée dans les domaines de l'inflammation, de la cicatrisation et de la douleur (13)(28)(35)(47)(112).

Les lasers les plus souvent rencontrés dans la littérature scientifique sont :

- Le laser diode à arséniure de gallium (GaAs) ;
- Le laser diode à arséniure de gallium-aluminium (GaAlAs) ;
- Le laser He-Ne.

1.2. Appellations

Le terme « Low level laser therapy » est le plus couramment employé. Cependant, du fait de l'absence de consensus, d'autres termes sont utilisés dans la littérature pour décrire ce phénomène, tels que :

- Laser therapy ;
- Low-level laser irradiation (LLLI) ;
- Low-energy laser irradiation (LELI) ;
- Low-power laser irradiation (LPLI) ;
- Laser photobiostimulation ;
- Laser photobiomodulation.

1.3. Paramètres

Plusieurs paramètres doivent être définis pour chaque usage de la LLLT. Il s'agit de la longueur d'onde, la puissance, la structure impulsionnelle, la fluence, l'irradiance, le temps d'irradiation et le protocole thérapeutique.

Une erreur dans leur choix peut entraîner un échec du traitement.

Cependant, aucune recherche approfondie n'a permis d'étudier l'effet de la variation de tous ces paramètres. L'absence de consensus signifie qu'ils sont souvent ajustés en fonction de l'expérience et des préférences des praticiens (28).

L'association mondiale de Laser Therapy (WALT) a tenté de fournir quelques recommandations concernant le dosage de la LLLT, malheureusement les applications en odontologie ne sont pas concernées (28)(111).

Certaines études nous ont permis de préciser certains de ces paramètres malgré l'absence de consensus ; il s'agit de :

- La longueur d'onde :

- > Elle doit être comprise dans le rouge ou le proche infrarouge (600-1000nm)(28)(50)(62) ;

- > Les longueurs d'onde comprises entre 600 et 700nm sont utilisées pour traiter les tissus superficiels ; entre 700 et 770nm on n'observe pas ou peu d'effets biologiques ; celles comprises entre 780 et 950nm permettent de traiter les tissus profonds (28) ;

- La puissance :

- Elle se situe dans la plage 1 à 1000mW et elle diffère en fonction du type d'application (28).

- Le protocole thérapeutique :

- La WALT recommande un traitement quotidien pendant 2 semaines ou tous les 2 jours pendant 3 à 4 semaines (111) ;

- Le temps d'irradiation :

- La WALT recommande un temps d'irradiation compris entre 30 et 600 secondes (111).

1.4. Réponse bi-phasique et effet dose-dépendant

La LLLT a un effet dose-dépendant avec une réponse bi-phasique.

Il existe une valeur seuil pour laquelle la réponse biologique est optimale.

En dessous et au-dessus de cette valeur il n'y aura peu ou pas de réponse biologique.

Si la dose utilisée est trop élevée l'effet peut alors être néfaste.

La loi « Arndt-Schulz » peut être utilisée pour illustrer cette réponse (28)(49)(50).

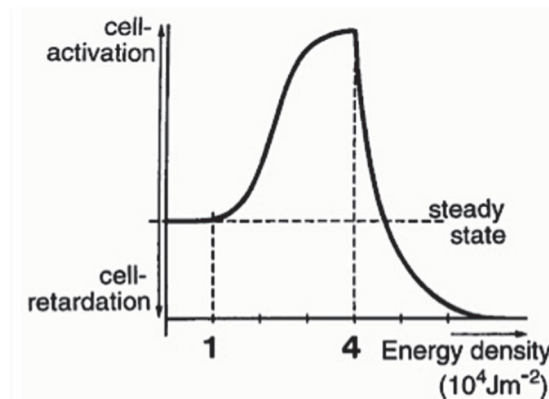


Figure 2 : Courbe biphasique d'Arndt-Schulz

1.5. Sécurité

Des recommandations en matière de sécurité ont été établies par la North American Association for Laser Therapy (29).

- Yeux : Port de lunettes adaptées obligatoire ne jamais diriger le rayon en direction des yeux ;
- Grossesse : Par précaution ne pas appliquer le laser en direction d'un fœtus en cours de développement ;
- Épilepsie : La lumière pulsée peut être l'élément déclencheur d'une crise sur les sujets épileptiques photosensibles ;
- Cancer : Ne pas appliquer le laser sur le site d'un carcinome ou de métastases.

2. Effets biologiques

2.1. Effets cellulaires (46)(57)(58)(59)(60)(61)(64)(98)(99)(110)(115)

On peut définir 2 types de cellules, celles qui sont sensibles à l'irradiation lumineuse et les autres.

Chez les cellules sensibles le rayonnement électromagnétique du laser est absorbé par des protéines photo-acceptrices qui sont alors activées. Le photo-accepteur principal est la cytochrome c oxydase (CcO) (protéine transmembranaire mitochondriale impliquée dans la chaîne respiratoire cellulaire).

Cette activation entraîne des modifications structurelles de la protéine CcO et une augmentation du transfert d'électrons en direction du cytosol.

La modification du potentiel redox de la cellule en faveur de l'oxydation déclenche une cascade de réactions homéostasiques biochimiques.

Les conséquences sont les suivantes :

- Augmentation de la production d'ATP :
L'ATP représente la monnaie énergétique cellulaire.
- Modulation des espèces réactives de l'oxygène (ROS) :
Les ROS sont impliquées dans la signalisation cellulaire, dans la régulation de la synthèse des acides nucléiques et des protéines, dans l'activation des enzymes et dans la progression du cycle cellulaire.
- Induction de facteurs de transcriptions (ex : NF-κB) :
Ils vont déclencher la synthèse de différentes protéines impliquées dans de nombreux mécanismes biologiques. On observera une augmentation de la prolifération et de la migration cellulaire ainsi que la modulation des niveaux de cytokines, de facteurs de croissance et des médiateurs de l'inflammation.

On note que d'autres chaînes redox peuvent également être activées. Chez les phagocytes l'irradiation génère un sursaut respiratoire non mitochondrial. La protéine activée est la NADPH-oxydase (protéine dans la membrane plasmique), il s'en suit alors une augmentation de la production de ROS.

D'autre part, la production et la libération de messagers secondaires (tels que les ROS) vont activer de façon indirecte d'autres cellules qui ne sont pas sensibles aux rayonnements électromagnétiques.

Pour conclure la LLLT permet grâce aux mécanismes évoqués ci-dessus d'augmenter la prolifération, la migration et l'adhésion cellulaire mais également d'inhiber l'apoptose.

Cependant ces mécanismes cellulaires sont actuellement encore mal compris par la communauté scientifique et nécessiteront des recherches supplémentaires.

2.2. Effets tissulaires

Grâce aux mécanismes cellulaires évoqués ci-dessus la LLLT va permettre :

- La réduction de l'inflammation et de l'œdème (13) ;
- La potentialisation de la cicatrisation (35)(112) ;
- Le traitement des troubles neurologiques et de la douleur (28)(47).

3. Laser ou LEDs (28)(46)

Les effets de la photobiomodulation ont été découverts de manière fortuite avec un laser en 1967. Les premières recherches ont donc été réalisées avec des lasers et les effets de la LLLT ont été attribués à la cohérence de la lumière.

Des études récentes ont permis de mettre en évidence l'obtention d'effets similaires avec une lumière non cohérente grâce à des LEDs (Light-Emitting Diode).

Les LEDs sont des composants optoélectroniques qui émettent de la lumière lorsqu'ils sont parcourus par un courant électrique.

La lumière émise est monochromatique (sur une gamme de longueur d'onde plus étendue que le laser) mais non cohérente.

Les effets de la LLLT étaient jusqu'ici attribués à la cohérence de la lumière. Un grand débat anime la communauté scientifique, les effets des LEDs et du laser sont-ils identiques ?

Les LEDs présentent plusieurs avantages : elles sont moins onéreuses, la gamme de longueur d'onde émise est plus large et elles peuvent être assemblées pour former des panneaux émetteurs (intérêt logistique).

III. Douleur et LLLT

1. La douleur

1.1. Définition

La douleur a été définie de façon officielle par l'association internationale pour l'étude de la douleur (IASP). Il s'agit « d'une expérience sensorielle et émotionnelle désagréable associée à une lésion tissulaire réelle ou potentielle ou décrite dans ces termes ».

La douleur est non quantifiable, aucun examen biologique ou radiologique ne permet d'objectiver la douleur.

La douleur est subjective. Les patients sont acteurs actifs de leur prise en charge. Ils sont les seuls à pouvoir indiquer ce qu'ils ressentent.

L'évaluation de l'intensité de la douleur et de l'efficacité des traitements médicamenteux ou non nécessitent impérativement la participation du patient (34).

1.2. Physiopathologie

En cas d'agression tissulaire, de maladie inflammatoire ou d'infection, les systèmes immunitaires innés et adaptatifs induisent une réaction inflammatoire. Elle a pour objectif la réparation tissulaire et l'éviction de l'agent pathogène.

Les fibres nerveuses de la douleur, A-delta (gros diamètre) et C (petit diamètre), ont des terminaisons libres appelées nocicepteurs. Ils composent la majorité des tissus oro-faciaux (peau, parodonte, muscle, muqueuse, pulpe, périoste).

On distingue :

- Les mécanorécepteurs (fibres A-delta) : sensibles à la pression, à l'étirement, à l'ischémie. Ils représentent 30% des nocicepteurs. Ils ont un seuil d'activation bas mais sont sujets à la fatigabilité en cas d'activations répétées avec une augmentation de leur seuil.
- Les polymodaux (fibres C) : sensibles aux stimulations chimiques ou biologiques liées à une inflammation réactionnelle, à une agression tissulaire ou à une infection. Ils sont aussi sensibles aux stimulations thermiques supérieures à 42° Celsius et aux

stimuli mécaniques. Ils représentent la majorité des nocicepteurs. Leur seuil d'activation initialement élevé diminue en cas de stimulus prolongé.

Ces nocicepteurs présentent à leur surface des récepteurs sensibles à de nombreuses substances dites algogènes tels que la bradykinine, les ions potassium, l'ATP, la sérotonine, l'histamine, les protons, les cytokines, les chemokines, les médiateurs lipidiques et les facteurs de croissance issus du système immunitaire.

Ces molécules déclenchent, par le biais des récepteurs présents sur les nocicepteurs, un potentiel d'action neuronal, c'est la transduction du signal et donc la transmission de l'information douloureuse.

Un premier neurone fait relais dans la corne postérieure de la moelle et excrète dans la synapse des médiateurs (glutamate, ATP, cytokines) qui vont alors stimuler un deuxième neurone. Ce dernier se dépolarise à son tour, l'influx douloureux est transmis au thalamus. Puis un troisième neurone intervient pour conduire cet influx jusqu'au cortex cérébral.

En odontologie les territoires sont quasiment tous innervés par la V paire crânienne (nerfs trijumeau) qui se divise en V1 (nerf ophtalmique), V2 (nerf maxillaire) et V3 (nerf mandibulaire).

Le corps des protoneurones (premiers neurones) se situe dans le ganglion trijéminal ou ganglion de Gasser. Ils font relais dans le complexe sensitif du trijumeau, situé entre la partie caudale de la moelle cervicale (C3-C4) et la partie caudale du mésencéphale. L'information douloureuse est ensuite transmise au thalamus puis au cortex cérébral comme vu ci-dessus (19)(54).

1.3. Evaluation (3)(30)(65)(85)

La douleur est un phénomène très subjectif. Son évaluation demeure une pratique complexe. Elle comprend différents mécanismes, dimensions, profils et son expression est fonction de l'âge, de la personnalité et de l'expérience du patient.

Nous disposons de plusieurs outils pour l'évaluer afin de mettre en œuvre des solutions adaptées.

1.3.1. Auto-évaluation

Dans le cadre de l'auto-évaluation, le patient mesure lui-même sa douleur.

a. Échelle visuelle analogique (EVA)

L'EVA se présente sous la forme d'une réglette de 10 cm.

Le recto est face au patient. Un curseur est mobilisable d'une extrémité « Absence de douleur » à l'autre « Douleur maximale imaginable ». Le patient place le curseur à l'endroit qui représente le mieux sa douleur.

Le verso de la réglette (côté soignant) est gradué en millimètre, la position du curseur définie au recto par le patient permet de lire l'intensité de la douleur au verso par le soignant.

b. Échelle numérique

Le patient doit simplement attribuer une note entre 0 et 10 à sa douleur, 0 correspond à l'absence de douleur, et 10 à une douleur maximale imaginable.

c. Échelle visuelle simple

Elle propose 4 alternatives au patient : pas de douleur, douleur faible, douleur modérée, douleur intense.

d. Echelle des visages de Bieri et échelle des visages de Wong-Baker

Des visages sont dessinés, chacun représente une émotion, un ressenti. L'enfant choisit le visage qui correspond le mieux à son état du moment.

e. Echelle de Melzack (QDSA)

Il s'agit d'un questionnaire avec trois classes de descripteurs de mots ; sensoriels, affectifs et évaluatifs ; qui sont listés et proposés au choix au patient pour décrire leur expérience subjective de la douleur. Il contient également une échelle d'intensité (pondération).

1.3.2. Hétéro-évaluation

Dans le cadre de l'hétéro-évaluation, la douleur du patient est quantifiée par un tiers. Ce type d'évaluation est intéressant pour les patients handicapés et les enfants en bas âge.

a. Children's Hospital of Eastern Ontario Pain Scale (CHEOPS)

Cette échelle comporte 6 items à observer chez les patients : pleurs, expression du visage, plaintes verbales, corps, mains et pieds. Le score peut s'étendre de 4 à 13.

b. Evaluation ENfant DOuLeur (EVENDOL)

L'échelle EVENDOL se base sur les expressions verbales/vocales, les mimiques, les mouvements, la position et les relations avec l'environnement.

1.3.3. Classification adaptée à l'orthodontie

Deux critères ont été définis par Burstone en 1962.

→ Le premier concerne le degré de douleur perçue en réponse à la quantité d'application de force :

1^{er} degré : Conscience de la douleur par le patient uniquement si l'orthodontiste manipule et stimule les déplacements dentaires avec des instruments.

2^{ème} degré : Douleur ou inconfort causé lors de serremments ou de morsures intenses. La mastication d'un bol alimentaire de consistance normale est possible.

3^{ème} degré : Mastication impossible d'un bol alimentaire d'une consistance normale.

→ Le second est fonction du moment d'apparition de la douleur :

1. Immédiat : souvent associé à un déplacement soudain du fait de forces lourdes.

2. Retardé : engendré par des forces de légères à lourdes et représentant une hyperalgésie de la membrane parodontale. Elle diminue avec le temps. La réaction douloureuse peut donc commencer au 3^e degré puis décroître jusqu'au 2^e puis au 1^e degré (65).

2. Douleur en orthodontie

2.1. Description

Le traitement d'orthodontie peut entraîner un inconfort, une douleur et des limitations fonctionnelles chez le patient.

D'après une étude de Kenneth K. Lew (63), 91% des patients déclarent avoir ressenti une douleur au cours de leur traitement d'orthodontie et 39% à chaque activation.

Cela s'exprime au travers de différentes sensations :

- Toucher désagréable ;
- Contrainte dans la cavité buccale ;
- Étirement des tissus mous ;
- Pression sur la muqueuse ;
- Déplacement de la langue ;
- Douleur dentaire.

La mastication, l'élocution et l'hygiène bucco-dentaire peuvent être altérées les premiers temps. Le confort de vie est ainsi réduit (16)(65)(66)(95).

La douleur est générée par de nombreuses procédures orthodontiques telles que (16):

- La mise en place des arcs ;
- L'activation des arcs ;
- La mise en place de séparateurs ;
- Le décollement des attaches ;
- La dépose de bagues ;
- L'application de forces orthopédiques.

La douleur orthodontique peut être définie par les caractéristiques suivantes (16) :

- Légère à modérée ;
- De courte durée.

Elle apparaît 2h après l'activation de l'appareil orthodontique, son point culminant est à 24h et elle décroît à partir du jour 3 (32)(37).

2.2. Facteurs influençants

La douleur est une réponse subjective qui diffère d'un individu à un autre.

Elle est fonction de différents facteurs, tels que (65) :

- L'âge ;
- Le sexe ;
- Le seuil de douleur individuel ;
- L'ampleur de la force appliquée ;
- L'état émotionnel du patient ;
- L'activité physique du patient (94) ;
- L'expérience du patient (66).

2.3. Conséquences

La douleur générée par les soins orthodontiques peut avoir différentes conséquences :

- Une altération de la qualité de vie :

Elle entraîne une limitation de l'hygiène bucco-dentaire, de la mastication et de l'élocution. Une mauvaise santé bucco-dentaire peut affecter les conditions physiques, psychologiques et sociales du patient, qui à leur tour affectent sa qualité de vie (16)(66).

- Un obstacle au succès thérapeutique :

La douleur entraîne une diminution de la coopération thérapeutique du patient (moindre observance des rendez-vous, non-respect des recommandations). Il a été rapporté que l'inconfort causé par les appareils orthodontiques peut conduire le patient au désir d'interrompre le traitement de façon prématurée. La douleur est donc un obstacle au bon déroulement du traitement et au succès thérapeutique, indissociables d'une bonne coopération du patient (1)(16)(83)(95).

En tant que soignants, nous avons pour obligation de prendre en charge la douleur de nos patients afin d'améliorer leur bien-être physique, mental, leur qualité de vie, leur coopération, d'augmenter les chances de succès thérapeutique et de limiter le risque d'abandon précoce.

2.4. Traitements

Différentes approches thérapeutiques existent en orthodontie pour traiter la douleur.

Sa prise en charge peut être pharmacologique.

On retrouve dans la littérature scientifique d'autres alternatives telles que la mastication sur des plaquettes de morsure, la stimulation vibratoire, l'acupuncture, les approches psychologiques mais également la low level laser therapy.

2.4.1. Prise en charge pharmacologique

L'organisation mondiale de la santé (OMS) classe les antalgiques en 3 paliers. Leur efficacité est croissante du premier jusqu'au troisième.

Palier I : Non opioïdes (Paracétamol, AINS dont l'aspirine) pour des douleurs de faible intensité (EVA 1 à 4).

Palier II : Opioïdes faibles (Codéine, Tramadol) pour des douleurs de moyenne intensité (EVA 4 à 7).

Palier III : Opioïdes agonistes forts (Morphine et substances apparentées) pour des douleurs de forte intensité (EVA 8 à 10) (15)(17).

2.4.2. Prise en charge non pharmacologique

La prise médicamenteuse n'est jamais sans risque, il existe de nombreux effets indésirables. Elle n'est pas toujours possible, il existe différentes contre-indications pour chaque molécule.

Les AINS auraient pour effet de diminuer le nombre d'ostéoclastes et donc de réduire la vitesse de déplacement des dents ce qui peut être problématique en orthodontie.

De plus, de nombreux parents recherchent des alternatives non médicamenteuses pour leurs enfants.

Différentes solutions sont explorées comme la modification des schémas de mastication, les anesthésiques topiques, l'acupuncture, l'irradiation au laser, les appareils vibratoires, la thérapie cognitivo comportementale, le suivi téléphonique ou la musicothérapie.

Cependant il existe un manque de preuve concernant ces options thérapeutiques, ce qui ne nous permet pas de systématiser leur utilisation. Des études supplémentaires sont nécessaires (42).

Mastication: La mastication de chewing-gum ou l'utilisation de plaquettes de morsure viscoélastiques réduirait d'après certains travaux la prise d'antalgiques (41)(53).

Anesthésique topique: Un gel à base de lidocaïne/prilocaine peut être utilisé pour réduire la douleur lors de la mise en place de séparateurs orthodontiques (4)

Acupuncture: Il s'agit d'un système thérapeutique issu de la médecine traditionnelle chinoise. Elle permettrait de réduire la douleur et l'anxiété. Une étude a été réalisée afin d'étudier les effets de l'acupuncture sur la douleur en orthodontie mais les preuves sont insuffisantes pour en tirer des conclusions (21).

Approche psychologique: Explications et conseils, thérapie cognitivo-comportementale, accompagnement téléphonique, musicothérapie, hypnose (12)(18)(32)(42)(51)

Appareil vibratoire: Les appareils vibratoires sont un sujet de recherche comme alternative aux traitements pharmacologiques de la douleur en orthodontie, cependant les résultats sont peu concluants (113).

Low level laser therapy: les effets de la LLLT sur la douleur en orthodontie seront évoqués dans une troisième partie.

3. Douleur et Low-level laser therapy en orthodontie.

L'objectif de cette thèse est de développer les différentes possibilités d'utilisation de la LLLT en orthopédie-dento-faciale.

De ce fait nous avons passé en revue la littérature scientifique sur le moteur de recherche pubmed avec les mots clés suivants :

- Orthodontics ;
- Low level laser therapy.

Afin d'accéder aux dernières données actualisées seules les publications des 5 dernières années ont été sélectionnées.

Au total 24 articles traitant de l'effet de la LLLT sur la douleur en orthodontie ont été retenus.

3.1. Les études

L'effet de la LLLT sur la douleur a été étudié dans les situations suivantes :

- Pose de séparateurs élastomériques (5 études) ;
- Changement d'arc/mise en place du premier arc (6 études) ;
- Mécanique de rétraction (4 études) ;
- Expansion palatine (1 étude, sur animal).

Un article avait pour objectif principal de comparer la LLLT avec une autre méthode de réduction de la douleur (appareil vibratoire), mais les résultats étaient non significatifs (25). Sept articles étaient des revues systématiques.

3.1.1. LLLT et pose de séparateurs élastomériques

Cinq articles ont traité de l'effet de la LLLT sur la douleur ressentie par des patients portant des séparateurs :

- Almallah et al. en 2020 (8) ;
- Martins et al. en 2019 (75) ;
- AlSayed Hasan et al. en 2018 (9) ;
- Qamruddin et al. en 2017 (88) ;
- Farias et al. en 2016 (39) ;

Les 5 études sont des essais contrôlés randomisés, 3 d'entre elles ont mis en évidence une réduction significative de la douleur après application du laser.

Les tableaux ci-dessous permettent de récapituler les caractéristiques individuelles de chaque étude.

Auteur	Pays	Nombre de patients	Moyenne d'âge	Méthodologie	Traitement orthodontique	Durée du suivi	Méthode de mesure
Almallah 2020	Syrie	36	17,44	RCT – split mouth design	Pose de séparateurs élastomériques	1, 6, 24, 48 et 96h post LLLT	EVA
Martins 2019	Brésil	62	19,8	RCT – double aveugle	Pose de séparateurs élastomériques	7 réévaluations sur une durée de 48h	EVA
AlSayed Hasan 2018	Syrie	25	16-22	RCT – Simple aveugle –split mouth design	Pose de séparateurs élastomériques	1, 6, 12, 24, 48 et 72h post LLLT	EVA
Qamruddin 2016	Pakistan	88	18,56	RCT – simple aveugle – split mouth design	Pose de séparateurs élastomériques	J1-2-3-4-5-6-7 post LLLT	Échelle numérique
Farias 2016	Brésil	30	18-40	RCT – split mouth design	Pose de séparateurs élastomériques	5min, 24h, 120h post LLLT	EVA

Auteur	Type de laser	Longueur d'onde	P mW	Énergie	Durée exposition	Fréquence de traitement	Résultats
Almallah 2020	GaAlAs laser	830nm	100 mW	4J/cm ²	28s par point	Groupe A : Application unique 1 heure avant Groupe B : Double application 1h avant et lors de la pose	Réduction significative de la douleur. Pas de différence significative entre les 2 protocoles.
Martins 2019	GaAlAs laser	830nm	100 mW	95 J/cm ²	30s par point (8 points)	Immédiatement avant et après placement des séparateurs, 24h et 48h après	Pas de différence significative
AlSayed Hasan 2018	GaAlAs laser	830nm	150 mW	2,25J/cm ² (groupe 1) ou 9J/cm ² (groupe 2)	Groupe 1 : 15s par point (2 points) Groupe 2 : 60s par point	Après la pose des séparateurs	Pas de différence significative
Qamrudd in 2016	GaAlAs laser	940nm	200 mW	4J/cm ²	20s/point (3 points)	Immédiatement après la pose des séparateurs	Différence significative entre placebo et LLLT les 7 jours
Farias 2016	GaAlAs laser	810nm	100 mW	2J/cm ²	15s/point (3 points)	Immédiatement après la pose des séparateurs	Différence significative entre placebo et LLLT à T1, T2, T3

3.1.2. LLLT et mise en place d'un arc orthodontique

Six articles traitant de l'effet de la LLLT sur la douleur après mise en place d'un arc orthodontique ont été retrouvés, seulement 4 d'entre eux étaient accessibles :

- Celebi et al. (25) ;
- Lo Giudive et al. (72) ;
- Wu et al. (114) ;
- Qamruddin et al. (87).

Les quatre études étaient des essais contrôlés randomisés. Trois d'entre elles ont mis en évidence une réduction significative de la douleur après application du laser.

Les tableaux ci-dessous permettent de récapituler les caractéristiques individuelles de chaque étude.

Auteur	Pays	Nombre de patients	Moyenne d'âge	Méthodologie	Traitement orthodontique	Durée du suivi
Celebi et Al., 2019	Turquie	60	3 groupes : 14,41 ; 13,98 et 14,84	RCT – 3 groupes parallèles (placebo – LLLT – vibrations mécaniques)	Mise en place arc orthodontique initial .014 niti	2h-6h-24h-3J-7J post opératoire
Lo Giudice et Al., 2019	Italie	90	16,5	RCT – 3 groupes parallèle (LLLT – placebo – témoin)	Mise en place arc orthodontique initial .014 niti	2h-6h-24h-2J-7J post opératoire
Wu et Al., 2018	Chine	44	20,8 +/- 5,9 ans	RCT – 2 groupes parallèles (LLLT – placebo) split mouth design	Mise en place arc orthodontique initial .014 niti	0h, 2h, 24h, 4j et 7j post opératoire
Qamruddin et Al., 2018	Pakistan	42	19,81 ans	RCT – 2 groupes parallèles – split mouth design	Mise en place arc orthodontique .012 puis .014 puis .016 puis .018 avec 4 semaines d'intervalles	Toutes les 12h pendant 7 jours

Auteur	Type de laser	Longueur d'onde	Puissance	Energie	Durée exposition	Fréquence de traitement	Résultats
Celebi et Al., 2019	GaAlAs	820nm	50mW	1,76J/cm ²	16s/point d'application (6 points par dents - 12 dents)	Application LLLT immédiatement après la pose de l'arc	Absence de différence significative
Lo Giudice et Al., 2019	Diode laser	980nm	1W	27J/cm ² pour les segments molaires et 24J/cm ² pour le reste	50s x 3 répétition à 2 min d'intervalle (arcade mandibulaire divisée en 6 segments, application en balayage vestibulaire)	Application LLLT le jour du collage	Différence significative entre le groupe LLLT et les 2 autres groupes. Pas de différence significative entre
Wu et Al., 2018	GaAlAs	810nm	400mW	2J/cm ²	20s par point d'application (6 points) sur la canine uniquement	Application à 0h, 2h, 24h, 4j et 7j après traitement	Scores NRS significativement plus faible dans le groupe « laser »
Qamruddin et Al., 2018	GaAlAs	940nm	100mW	7,5J/cm ² par point	3s par point (10 points : 5 vestibulaires et 5 palatins)	Application unique après chaque changement d'arc	Différence significative pour les arcs .012 et .014 (douleur spontanée)

3.1.3. LLLT et mécanique de rétraction

Quatre articles traitant de l'effet de la LLLT sur la douleur après mise en place d'une mécanique de rétraction orthodontique ont été retrouvés :

- Prasad et al., 2019 (86) ;
- Guram et al., 2018 (48) ;
- Qamruddin et al., 2017 (89) ;
- Sobouti et al., 2015 (97).

Seulement 2 études sur les 4 avaient pour objectif principal l'étude de la douleur, nous les avons donc sélectionnées (Prasad et al. et Sobouti et al.).

Les 2 études mettaient en évidence une réduction significative de la douleur après LLLT.

Les tableaux ci-dessous permettent de récapituler les caractéristiques individuelles de chaque étude.

Auteur	Pays	Nombre de patients	Age moyen	Méthodologie	Traitement orthodontique	Durée du suivi	Méthode de mesure
Prasad 2019	Inde	20	21,3	RCT – simple aveugle	Mécanique de rétraction canine 200g/cm2/côté	0h, 1h, 3h, 24h, 48h, 1 semaine	EVA
Sobouti 2015	Iran	30		RCT – split mouth design – simple aveugle	Mécanique de rétraction canine 150 à 175g	J1, J2, J4, J7	EVA

Auteur	Type de laser	Longueur d'onde	Puissance	Energie	Durée exposition	Fréquence de traitement	Résultats
Prasad 2019	Diode	980nm	2,5W/cm ²	600J	30s par point (1 point vestibulaire et palatin par dent)	Jour de la mise en place de la mécanique	Douleur significativement moindre dans le groupe expérimental LLLT à 24h. Le reste est non significatif
Sobouti 2015	He-Ne	632,8nm	10mW	6J/cm ²	4 points (40s point coronaire, 80s point apical en vestibulaire et palatin)	Jour de la mise en place de la mécanique	Différence significative (douleur significativement moindre dans le groupe expérimental LLLT)

3.1.4. LLLT et disjonction palatine

L'étude de Mohammad-Hoseyni et al. (77), traitant de l'effet de la LLLT sur la douleur après disjonction palatine a été sélectionnée. Cette recherche a été menée sur des rats. Il s'agit d'un essai clinique contrôlé randomisé mettant en évidence une prise de poids significativement plus rapide chez les rats traités par disjonction palatine accompagnée d'un traitement par LLLT. L'auteur associe prise de poids et réduction de la douleur.

Auteur	Pays	Nombre de patients	Méthodologie	Traitement orthodontique	Durée du suivi	Méthode de mesure	
Mohammad-Hoseyni 2015	Iran	60 rats	RCT	Expansion palatine	J0, J2, J4, J6, J8, J10,	Contrôle du poids	

Auteur	Type de laser	Longueur d'onde	Puissance	Énergie	Durée exposition	Fréquence de traitement	Résultats
Mohammad-Hoseyni 2015	GaAlAs	810nm	100mW	4J/cm ²	4 points, durée non précisée	J0, J2, J4, J6, J8, J10, J12, J14	Reprise de poids significativement supérieure chez les rats ayant reçu la LLLT, dès le jour 2. Reprise de poids moins importante et seulement au jour 4 pour les groupes sans LLLT.

3.1.5. Revue systématique

Sept revues systématiques ont été sélectionnées :

- Cronshaw et al. 2019 (31) ;
- Aljudaibi et Duane 2018 (7) ;
- Topolski et al. 2019 (102) ;
- Eslamipour et al. 2017 (38) ;
- Deana et al. 2017 (33) ;
- Shi et al. 2015 (96) ;
- Li et al. 2015 (70) ;

Toutes étudient l'effet de la LLLT sur la douleur en orthodontie.

Trois d'entre elles évaluent également des méthodes antalgiques alternatives.

Vous trouverez ci-dessous un tableau récapitulatif avec les conclusions de chaque revue systématique.

Auteur	Résultats
Cronshaw et al. 2019	Sept études sur 9 démontrent que la photobiomodulation laser permet une réduction significative de la douleur lors du traitement d'orthodontie
Aljudaibi et Duane 2018	Méta-analyse concernant les interventions non pharmacologiques contre la douleur en orthodontie. Quatorze études incluses (931 participants), 4 concernant la LLLT, 5 la stimulation vibratoire, 3 les adjuvants de mastication, 1 la musique d'onde cérébrale et la thérapie cognitivo-comportementale, 1 la communication post traitement par message. Résultats significatifs sur la réduction de la douleur en orthodontie à 6h, 3j et 7j post traitement grâce à la LLLT. Pas de résultat concluant pour les autres moyens (faible qualité des preuves).
Topolski et al. 2018	Méta-analyse ayant pour objectif la recherche de la meilleure méthode de prise en charge de la douleur. Cinquante-six articles ont été inclus, 19 étudient une prise en charge pharmacologique de la douleur, 16 avec LLLT et 21 évaluent d'autres méthodes. La douleur semble être significativement diminuée par les médicaments et par la LLLT. Il n'y a cependant pas de consensus concernant les doses et les protocoles.
Eslamipour et al. 2017	Méta-analyse étudiant l'effet de l'ibuprofène et de la LLLT sur la douleur en orthodontie avec appareil fixe. Six études ont été incluses (315 patients), 4 concernant l'ibuprofène et 2 la LLLT. On observe une diminution significative de la douleur à 6 et 24h post opératoire pour l'ibuprofène avec un niveau de preuve élevé. Concernant le LLLT on observe une diminution significative de la douleur à 2h et 3 à 7j post opératoire avec cependant un niveau de preuve limité. Difficile de tirer des conclusions.
Deana et al. 2017	Méta-analyse évaluant l'efficacité de la LLLT sur la réduction de la douleur en orthodontie. Vingt essais cliniques contrôlés randomisés ont été inclus. La LLLT réduit significativement la douleur spontanée, la douleur à la mastication 24 à 72h après la mise en place de séparateurs et la douleur spontanée après mise en place d'arcs. Cependant les preuves sont de mauvaise qualité.
Shi et al. 2015	Méta-analyse évaluant l'efficacité de la LLLT sur la douleur lors de la pose de séparateurs élastomériques. Six études ont été incluses. La LLLT peut réduire efficacement la douleur causée par le placement des séparateurs. Cependant, en raison de la forte hétérogénéité des protocoles, des essais cliniques randomisés bien conçus sont nécessaires à l'avenir.
Li et al. 2015	Il y a des lacunes méthodologiques et un risque de biais élevé concernant les essais cliniques randomisés inclus, les preuves sont insuffisantes. Des recherches plus poussées devraient être effectuées afin de recommander la LLLT comme méthode de routine pour traiter la douleur en orthodontie.

D'après ces travaux la LLLT semble réduire significativement la douleur en orthodontie.

Les articles étudiés présentent cependant un faible niveau de preuves scientifiques, un risque de biais accru et des lacunes méthodologiques.

Il n'y a pas de consensus concernant les doses et les protocoles d'application de la LLLT.

3.2. Paramètres d'utilisation de la LLLT pour réduire la douleur

Aucun consensus n'est établi concernant les paramètres d'utilisation de la LLLT pour réduire la douleur en orthodontie. Aucun protocole standardisé n'a été validé.

Au cours des 5 dernières années, nous constatons que :

- Les lasers diode laser (surtout GaAlAs) sont les plus largement utilisés ;
- Les longueurs d'ondes choisies varient de 810nm à 980nm (diode laser) à une exception près ;
- Les puissances utilisées varient globalement entre 0,05 et 1W.

Exception : un essai étudie un laser à gaz (He-Ne) qui émet dans l'infra rouge à la longueur d'onde de 632,8nm.

La fréquence d'application du laser varie entre les études. Une application unique a été évaluée, cela pourrait être intéressant car plus compatible avec une pratique orthodontique de routine en cabinet.

Nous en tirons la conclusion suivante : la LLLT semble intéressante pour réduire la douleur en orthodontie mais de nouvelles études de meilleure qualité sont nécessaires pour intégrer la LLLT dans une pratique orthodontique du quotidien.

IV. Accélération du déplacement dentaire et LLLT

1. Le déplacement dentaire

1.1. Remaniement physiologique du parodonte (20)(68)

Les phénomènes de remodelage du parodonte regroupent :

- Le remaniement du desmodonte : les fibres de collagène sont détruites et remplacées de façon continue par les fibroblastes. Le ligament dento-alvéolaire a également la capacité de mettre en place un contrôle des phénomènes de remodelage osseux afin de limiter les événements d'ankylose.
- Le remaniement de l'os alvéolaire : il s'agit d'un tissu conjonctif dont la substance intercellulaire, fabriquée par ses cellules, se minéralise. Il est constitué de cellules osseuses et d'une matrice fibreuse (90 % collagène, 10 % glycoprotéines) qui est secondairement minéralisée. Le remaniement de l'os alvéolaire s'organise selon la séquence activation-résorption-inversion-formation (ARIF) qui est suivi d'une phase de quiescence.
 - Activation : recrutement des préostéoclastes, reconnaissance de la zone osseuse à résorber, attachement à la surface, fusion des préostéoclastes en ostéoclastes multinucléés.
 - Résorption : destruction du tissu osseux par les ostéoclastes.
 - Inversion : Établissement de la limite os nouveau/os ancien (ligne cémentante) par les macrophages, recrutement de préostéoblastes qui se différencient en ostéoblastes.
 - Formation : Apposition de tissu ostéoïde le long de la ligne cémentante puis minéralisation

Le remodelage est régulé par :

- Des facteurs généraux (hormones calciotropes) ;
- Des facteurs locaux (facteurs de croissance, cytokines, interleukines...).

L'activation du cycle cellulaire est déclenchée sous l'effet d'un message général, régional ou local.

1.2. Remaniement thérapeutique du parodonte et déplacement dentaire (20)(68)

L'application continue d'une force sur une dent entraîne une flexion des parois osseuses et une réaction inflammatoire.

Ces dernières sont à l'origine de nombreux signaux cellulaires (cytokines et autres messagers) qui sont responsables de la différenciation, de l'activation et de l'inhibition des différentes populations cellulaires impliquées dans le remodelage parodontal.

L'objectif de l'orthodontie est d'orienter les phénomènes de remodelage pour générer un déplacement de la dent.

1.2.1. Cinétique du déplacement

Le déplacement dentaire a été décrit par Baron. Il le divise en une phase initiale, une période de latence et une période de post-latence.

- Phase initiale : elle dure 24h à 2 jours. On observe un déplacement de faible amplitude et instantané de la dent au sein de son alvéole, du fait de l'élasticité du ligament dento-alvéolaire et de la fuite des liquides au travers de la lame criblée.
- Phase de latence : On observe un déplacement dentaire faible ou inexistant. Elle correspond à la mise en jeu des phénomènes de remodelage nécessaire pour que le déplacement dentaire se poursuive. Sa durée varie de 1 à une dizaine de jours en fonction du niveau de pression qu'entraîne le système mécanique générant la contrainte.
 - Une faible pression limite la circulation sanguine sans l'entraver, les phénomènes de résorption vont pouvoir se mettre en place rapidement, il se produit une résorption directe.
 - Une forte pression empêche la vascularisation de certaines zones, une nécrose se produit, il s'agit de la zone hyaline. Le remodelage ne peut s'y organiser directement. Le déplacement va être possible seulement après la mise en place des phénomènes de remodelage à partir des espaces médullaires adjacents ou de la zone périostée voisine. Il s'agit d'une résorption indirecte. Le déplacement se produit une fois la zone hyaline résorbée.
- Phase de post-latence : On observe une augmentation du déplacement (graduelle ou subite). Elle termine le déplacement jusqu'à la prochaine activation.

1.2.2. Aspect tissulaire

L'initiation du mouvement dentaire s'explique selon deux théories : la théorie de la pression/tension et celle de la courbure de l'os alvéolaire.

a. Théorie de la pression/tension :

Selon ce concept c'est la variation de largeur du desmodonte qui entraîne des variations de l'activité cellulaire.

Deux côtés se distinguent lors de l'application d'une force :

- Un côté pression, opposé à l'application de la force. On y observe une constriction vasculaire et une fuite de la substance fondamentale. Cela entraîne une désorganisation du desmodonte par diminution de la production de fibres et de la réplication cellulaire.
- Un côté tension, du côté où la force est appliquée. Le ligament s'y élargit, les fibres desmodontales sont en tension, on y observe une réplication et une prolifération cellulaire. Il y a augmentation de la production de fibres et dépôts de cristaux d'hydroxyapatite.

Si la force appliquée est supérieure à la pression du lit vasculaire (2000 à 2500 Pa) on observera une nécrose. Si la force est trop grande la dent entrera en contact avec l'os et des zones de pression très importante apparaîtront, les zones hyalines.

b. Théorie de la courbure alvéolaire

La force appliquée courbe l'os alvéolaire, les structures solides du desmodonte et la dent. L'os étant plus élastique que les autres structures il se courbe plus vite. Cela entraîne l'apparition d'un flux électrique, il s'agit de la piézoélectricité.

On observe deux faces. Une concave, électronégative, qui stimule l'activité ostéoblastique ; une convexe, électropositive, qui favorise l'activité ostéoclastique. Ces courants électriques ont un impact au niveau moléculaire. Le processus bioactif qui s'en suit joue un rôle dans le turn-over et le renouvellement des cellules et des fractions inorganiques de l'os.

1.2.3. Aspect cellulaire

a. Effets biologiques immédiats

La conversion du stress mécanique en réponse cellulaire se fait par mécanotransduction et par réaction inflammatoire. Ces deux phénomènes sont souvent décalés dans le temps.

La mécanotransduction : L'application d'une contrainte va entraîner une courbure de l'os alvéolaire et générer une variation structurelle et fonctionnelle des protéines de la matrice extracellulaire, du cytosquelette et de la membrane cellulaire. Une liaison va s'effectuer entre des protéines transmembranaires (les intégrines $\alpha_3\beta_5$), la matrice déformée et le cytosquelette ce qui va entraîner par le biais d'une cascade de réaction et l'intervention de nombreux acteurs la réponse cellulaire.

Les cellules mécanosensibles sont les fibroblastes pour le desmodonte et les ostéocytes pour l'os alvéolaire.

La réaction inflammatoire : L'application d'une contrainte va entraîner une compression et un étirement des fibres et des cellules dans les zones de tension et de compression du desmodonte. Cela va activer le recrutement des ostéoblastes et des progéniteurs des ostéoclastes ainsi que les phénomènes d'extravasation et de chimiotactisme.

On observe tout d'abord une phase inflammatoire aiguë accompagnée d'une gêne fonctionnelle et de douleur.

L'écrasement des fibres nerveuses entraîne une augmentation de la sécrétion de neuropeptides CGRP (calcitonin gene-related protein) et de substance P. Puis apparaît une vasodilatation des capillaires, une augmentation de flux sanguin, une extravasation de plasma, une migration de leucocytes et la production de nombreuses cytokines (IL-1, IL-6, IL-8 et TNF- α) (55).

Ces premiers messagers, produits par les cellules nerveuses et les cellules immunitaires interagissent avec toutes les populations cellulaires paradentaires.

Ils vont se lier à des récepteurs membranaires.

Les informations sont alors converties en seconds messagers (Voie de l'AMPc, du GMPc et du phosphoinositides) au sein du cytoplasme cellulaire. Ces derniers interagissent avec des enzymes cellulaires (protéines kinases) permettant l'expression de la réponse cellulaire (mobilité, différenciation, prolifération, synthèse, sécrétion).

L'Interleukin-1 (IL-1) est une cytokine impliquée dans la survie, la fusion et l'activation des ostéoclastes. L'IL-1 β est sécrétée majoritairement par les monocytes mais aussi par d'autres populations cellulaires (macrophages, cellules endothéliales, fibroblastes, cellules épidermiques). Elle a été identifiée comme un biomarqueur du mouvement orthodontique (55).

b. Effets biologiques à court terme

- Côté tension :

Les fibroblastes mis en tension synthétisent des cytokines qui stimulent les enzymes dégradant les constituants de la matrice extra cellulaire ainsi qu'un facteur de croissance endothélial (VEGF) qui initie l'angiogénèse. Les fibroblastes différenciés en ostéoblastes et les ostéoblastes quiescents synthétisent de la matrice ostéoïde au contact de l'os alvéolaire.

- Côté pression :

Les fibroblastes comprimés synthétisent des cytokines qui favorisent la diapédèse des monocytes et l'expression par les ostéoblastes du ligand RANK_L (RANK_L intervient dans la différenciation ostéoclastique). Les monocytes vont former des cellules géantes multinucléées exprimant le récepteur RANK. Elles vont s'activer en ostéoclastes au contact des ostéoblastes exprimant RANK_L.

La résorption va se produire directement au contact des zones hyalines (résorption directe latérale ou frontale), à partir des espaces médullaires à distance des zones hyalines (résorption indirecte) ou des espaces viables du ligament (résorption sapante). La reprise du déplacement ne peut se faire qu'après élimination du tissu nécrotique en cas de zones hyalines.

c. Effets biologiques à long terme

Lorsque la contrainte cesse, on observe une inversion dans le cycle cellulaire. Les ostéoclastes disparaissent pour laisser place aux ostéoblastes. Ils produisent alors la matrice ostéoïde, qui sera minéralisée par les ostéocytes. Lorsque l'équilibre tissulaire de départ est retrouvé les réactions cellulaires s'arrêtent.

Les ostéoclastes sont actifs tant que les cellules adjacentes produisent RANK_L.

Les ostéoblastes produisent et sécrètent une molécule qui se lie également aux récepteurs RANK, il s'agit de l'ostéoprotégérine (OPG). Elle permet de limiter les liaisons entre le

récepteur RANK et son ligand et ainsi d'inhiber les ostéoclastes. La production d'OPG est sous l'influence de facteurs anaboliques et antirésorptifs hormonaux, immunologiques ou inorganiques.

Les ostéoblastes jouent donc un rôle majeur dans les phénomènes de remodelage osseux. Ils participent à l'activation de l'ostéoclastogénèse, l'inhibition de la résorption et la synthèse d'une néomatrice osseuse.

2. Accélération du déplacement dentaire

2.1. Intérêts

La durée d'un traitement orthodontique est fonction de différents paramètres : la situation clinique, le praticien, le patient (81).

- La situation clinique : la typologie faciale (densité osseuse et divergence faciale), le type de malocclusion, la santé parodontale (quantité d'os).
- Le praticien : l'expérience clinique, le diagnostic posé, le plan de traitement choisi, l'appareillage utilisé, la connaissance de la biomécanique.
- Le patient : l'observance des consignes données par le praticien, le respect des rendez-vous, l'hygiène bucco-dentaire.

Plus la durée du traitement orthodontique est importante plus le risque de survenue d'effets indésirables est grand. Sont concernées (81) :

- Les résorptions radiculaires (manque de maîtrise de la biomécanique orthodontique, forces trop importantes...);
- Les lésions carieuses (contrôle de plaque plus difficile avec l'appareillage);
- Les parodontopathies (forces trop importantes, défaut de maîtrise des mouvements, contrôle de plaque plus difficile avec l'appareillage).

De plus, de nombreux patients adultes consultent en orthodontie. Leur motif de consultation est majoritairement esthétique.

L'un des enjeux actuels est de proposer des traitements plus rapides afin de limiter les effets indésirables et de répondre à la demande esthétique des patients sans négliger les objectifs thérapeutiques. Il serait donc intéressant d'accélérer le déplacement dentaire.

2.2. Méthodes

Différentes méthodes ont été étudiées afin d'accélérer le déplacement dentaire. On observe les moyens chirurgicaux, les stimuli physiques et les stimuli chimiques.

2.2.1. Les moyens chirurgicaux

Les moyens chirurgicaux sont basés sur un phénomène biologique appelé phénomène d'accélération régionale ou PAR. Lorsqu'un os est agressé il se produit une réorganisation tissulaire avec augmentation du turn-over cellulaire et régénération osseuse à proximité du site de l'agression. Ce sont des techniques plus ou moins invasives. Ces méthodes regroupent :

a. Les techniques invasives (81)

- La corticotomie alvéolaire : un lambeau mucopériosté est réalisé puis une incision de l'os cortical dans la totalité de son épaisseur et de l'os alvéolaire en superficialité ; entre et parallèlement aux racines des dents à déplacer (44)(73).
- La distraction dento-alvéolaire : elle est indiquée pour les traitements avec extractions, il s'agit de multiples perforations corticales mésiales et distales à la canine, reliées entre elles à la fraise fissure, puis d'une dissociation de la racine et de la corticale avec un ostéotome afin de permettre le recul canin grâce à la pose et l'activation d'un distracteur (67)(73).
- La discision : une anesthésie péri-apicale est effectuée de la 16 à la 26 puis des incisions sont réalisées à la scie à disque d'une profondeur de 2mm entre chaque dent (22).

b. Les techniques minimalement invasives (81)

- La piézocision : Un lambeau de pleine épaisseur peut être levé (non obligatoire) puis une incision de la corticale osseuse est réalisée avec un insert de piézochirurgie de part et d'autre de la racine à déplacer. Si aucun lambeau n'est fait, l'incision se fait directement au travers de la muqueuse ; c'est la technique dit minimalement invasive (26)(27).
- La corticision : Il s'agit d'une corticotomie sans lambeau. Les incisions osseuses sont réalisées au travers même de la gencive à l'aide d'un scalpel renforcé et d'un maillet chirurgical (81).

- Les micro-ostéoperforations : Une anesthésie est réalisée puis des micro-perforations osseuses sont effectuées grâce à des mini-vis montées sur tournevis ou contre angle. On insère la vis jusqu'à la longueur de perforation puis on la retire (6).

Ces techniques permettent d'obtenir des résultats prometteurs. Cependant elles sont invasives, elles impliquent un temps chirurgical, elles peuvent engendrer des cicatrices ainsi que des résorptions radiculaires, des récessions et un inconfort pour le patient.

2.2.2. Les stimuli chimiques

Des auteurs ont étudiés l'effet de différentes molécules sur le déplacement dentaires :

- Les stimuli systémiques : hormone parathyroïdienne et vitamine D3 ;
- Les stimuli locaux : prostaglandines, ligand RANK_L et injection de relaxine.

Le niveau de preuve des articles concernés est insuffisant et la littérature incomplète. De plus l'effet systémique de ces molécules malgré une injection locale soulève un problème de sécurité (81).

2.2.3. Les stimuli physiques

Les stimuli physiques regroupent :

- Les vibrations : Les vibrations stimuleraient les ostéoclastes et les ostéoblastes. Elles permettraient une augmentation de l'expression du ligand RANK_L. Des dispositifs adaptés générant des vibrations sont disponibles (93).
- Le champ électromagnétique pulsé : Un courant continu entre le site de pression et le site de tension de la dent à déplacer permettrait d'induire un remodelage osseux en stimulant certains enzymes et ainsi d'accélérer le déplacement dentaire. Cette technique est inconfortable pour le patient (81).
- Le laser : Nous étudierons les effets de la low level laser therapy sur le déplacement dentaire au cours de la partie suivante.

3. Accélération du déplacement dentaire par LLLT

3.1. Mécanisme

Différents auteurs ont permis d'observer la variation de différents paramètres lors de l'application de la LLLT :

- Augmentation du nombre d'ostéoclastes (116) ;
- Augmentation de l'expression de RANK_L et de l'ostéoprotégérine et donc augmentation du remodelage osseux (116) ;
- Augmentation d'Interleukin-1 β (IL-1 β) (14)(105)(116).

D'après Huynh et al. l'IL-1 β serait impliqué dans l'augmentation de l'expression de RANK_L (52);

- Augmentation de la viabilité et de la différenciation des préostéoblastes (82).

D'après Tsuka et al (104), une irradiation laser (Nd:YAG) sur culture cellulaire in vitro permettrait d'accélérer la migration cellulaire et donc ostéoblastique. Ceci contribuerait à la régénération des tissus osseux.

De plus cette irradiation serait corrélée à une augmentation de la production d'ATP.

Abtahi et al. (2) ont mis en évidence une augmentation du nombre de lacunes de résorption sur des coupes histologiques chez le lapin après avoir reçu une irradiation laser lors du déplacement des incisives centrales avec un ressort.

3.2. Intérêts

Nous avons cité dans la partie précédente les différents moyens étudiés dans la littérature scientifique pour accélérer le déplacement dentaire ainsi que leurs limites.

Le laser n'est pas invasif, il ne génère pas de douleur ni d'inconfort chez le patient et ne présente pas d'effets secondaires majeurs. Son utilisation pour accélérer le déplacement dentaire est donc intéressante.

3.3. Revue de la littérature

L'objectif de cette thèse est de développer les différentes possibilités d'utilisation de la LLLT en orthopédie-dento-faciale.

Nous avons passé en revue la littérature scientifique sur le moteur de recherche pubmed avec les mots clés suivants :

- Orthodontics ;
- Low level laser therapy.

Afin d'accéder aux dernières données actualisées seules les publications des 5 dernières années ont été sélectionnées.

Vingt-six articles traitant de l'effet de la LLLT sur le déplacement dentaire en orthodontie ont été retenus au total.

3.3.1. Les études

L'effet de la LLLT sur le déplacement dentaire a été étudié :

- En association ou en comparaison à d'autres techniques (4 études) (5)(23)(40) (119) ;
- Lors d'une rétraction en masse (1 étude) ;
- Lors d'une rétraction canine (4 études) ;
- Lors d'une expansion palatine (1 étude) ;
- Lors de l'alignement (2 études).

Le mécanisme d'action de la LLLT a été étudié par 7 auteurs.

Les paramètres optimaux d'utilisation de la LLLT pour accélérer le déplacement dentaire ont été recherchés dans 2 études.

Cinq articles étaient des revues systématiques concernant l'effet de la LLLT sur le déplacement dentaire.

a. LLLT en association ou en comparaison à d'autres techniques

Farid et al. (40) ont comparé l'effet de la corticotomie associée ou non avec la LLLT sur la rétraction canine. Il s'agissait d'une étude randomisée en split mouth design. Aucune différence significative n'a été retrouvée entre la corticotomie seule et la corticotomie associée à la LLLT.

Caccianiga et al. (23) ont évoqué la possibilité d'utiliser la LLLT et la corticotomie en association dans les cas d'occlusion inversée postérieure unilatérale maxillaire chez l'adulte. L'utilisation simultanée des deux procédés, uniquement sur le secteur en occlusion inversée, permettrait de potentialiser l'effet d'un quad hélix et de générer une expansion

différentielle entre ce secteur et le controlatéral. D'autres études sont nécessaires pour étayer ce protocole.

Zaniboni et al. (119) ont étudié l'effet de la corticotomie associée à la LLLT et/ou à la stimulation électrique de faible intensité sur le déplacement dentaire. La LLLT et la stimulation électrique ont d'après eux toutes deux amélioré le processus de remodelage osseux pendant le traitement orthodontique avec corticotomie.

Alazzawi et al. (5) ont comparé l'effet de la LLLT, des ultra-sons pulsés de faible intensité et l'association des deux sur le remodelage osseux lors du mouvement dentaire orthodontique. La quantité de mouvements dentaires et le remodelage osseux étaient significativement plus importants dans les groupes test que dans le groupe témoin. Ces résultats supposent que la LLLT et les ultra-sons pulsés peuvent augmenter la vitesse du déplacement dentaire et améliorer la qualité du remodelage osseux. (5)

La LLLT est une piste intéressante pour accélérer le déplacement dentaire. Elle peut-être associée à d'autres techniques afin de potentialiser leurs effets. Cependant le niveau de preuve des études évoquées ci-dessus est faible. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour tirer des conclusions quant à la place de la LLLT parmi l'arsenal thérapeutique du praticien.

b. LLLT et rétraction en masse

Arumughan et al. (14) ont étudié l'effet de la LLLT sur une rétraction en masse après avulsion des premières prémolaires. Le schéma expérimental était un split mouth design. Le laser était un GaAlAs avec une longueur d'onde de 810nm. Le taux de mouvement dentaire était plus rapide du côté LLLT, la différence entre les deux côtés était statistiquement significative avec un $p < 0,014$. La LLLT permettrait donc d'après Arumughan et Al. d'accélérer une rétraction en masse dans un cas d'extraction de prémolaires chez l'adulte. D'autres études sont nécessaires pour généraliser ces conclusions.

c. LLLT et rétraction canine

Quatre auteurs ont étudié l'effet de la LLLT sur la rétraction canine au cours des 5 dernières années. Seulement 2 des 4 articles disponibles ont pu être étudiés.

Auteur	Pays	Nombre de patients	Moyenne d'âge	Méthodologie	Traitement orthodontique	Durée du suivi	Méthode de mesure
Mistry 2020 (76)	Australie	22	17,3	RCT – split mouth design – triple aveugle	Rétraction canine avec ressort niti 150g sur cas avec extractions de PM et arc de Nance.	J0, J28, J56, J84	Pied à coulisse numérique
Guram 2018 (48)	Inde	20	17-24	RCT – split mouth design - double aveugle	Rétraction canine avec arc sectionnel à boucle 150g de force sur cas avec extractions de PM	T1 à 2 mois, T2 à 4 mois, T3 à la fin	Pied à coulisse numérique

Auteur	Type de laser	Longueur d'onde	Puissance	Énergie	Durée exposition	Fréquence de traitement	Résultats
Mistry 2020 (76)	GaAlAs	808nm	0,2W	13,87J par séance (1,72J/pt)	10s/point, 8 points par séance	Immédiatement après activation du ressort à J0, J28, J56	Absence de différence significative entre LLLT et témoin
Guram 2018 (48)	GaAlAs	810nm	0,2W	5J/cm ²	8 points, 10s/point	80s/semaine pendant 21j	Différence significative entre LLLT et témoin, durée de rétraction 65% moindre importante avec LLLT

Nous observons ici deux études, traitant du même sujet, avec des résultats contradictoires. Mistry et Al. n'ont pas relevé de différence significative entre les groupes LLLT et témoin alors que Guram et al. oui. Ceci démontre bien qu'une harmonisation des protocoles est nécessaire et qu'il est indispensable de mener des études sur un plus grand nombre d'individus.

d. LLLT et expansion palatine

L'occlusion inversée unilatérale a souvent pour étiologie une endoalvéolie unilatérale maxillaire. L'expansion asymétrique est biomécaniquement difficile à obtenir avec les méthodes conventionnelles. Caccianiga et al. ont étudié l'expansion orthodontique maxillaire assistée par corticotomie et LLLT unilatérale. L'application a été réalisée du côté de l'endoalvéolie et donc de l'occlusion croisée afin de générer une expression asymétrique de l'expansion.

Les corticotomies ont été réalisées le jour de la pose de l'appareillage et la LLLT a été appliquée de façon mensuelle jusqu'à la correction de l'occlusion inversée.

Le laser était un diode laser de longueur d'onde 980nm, la puissance était 1W, et l'énergie 1J/cm².

L'expansion moyenne observée était significativement plus importante du côté LLLT + corticotomie au niveau des prémolaires et de la première molaire.

La LLLT associée à la corticotomie peut donc présenter un intérêt pour les cas d'occlusion inversée unilatérale maxillaire. D'autres études sont à réaliser.

2

e. Effet de la LLLT sur l'alignement dentaire

Caccianiga et al. (24) ont étudié en 2017 l'effet de la LLLT sur la durée de résolution d'un encombrement dentaire.

Le laser évalué était un diode laser d'une longueur d'onde de 980nm, d'une puissance de 1W et d'une densité d'énergie de 150J/cm². L'administration était mensuelle.

Trente-six sujets ont été répartis en 2 groupes. Un groupe a été traité avec appareillage fixe et LLLT (test), l'autre groupe seulement avec appareillage fixe (témoin).

La durée de résolution de l'encombrement était le critère de jugement principal.

Cette durée était significativement réduite chez le groupe test (211,8 jours contre 284,1 jours avec $p < 0,001$), le nombre de rendez-vous mensuel était donc moins important que chez le groupe témoin.

AlSayed et al. (10) ont également étudié en 2017 l'effet de la LLLT sur la durée de résolution d'un encombrement dentaire.

Vingt-six patients présentant un encombrement incisif avec indication d'avulsion de prémolaires ont été inclus à l'étude. Deux groupes ont été réalisés, un groupe traité par appareillage fixe et LLLT (test) et un groupe sans LLLT (témoin). Le laser était un GaAlAs d'une longueur d'onde de 830nm, la puissance était de 150mW et la densité d'énergie de 2,25J/cm².

Il a été appliqué immédiatement après insertion du premier arc, à J+3, J+7, J+14 puis tous les 15 jours jusqu'à résolution de l'encombrement. La durée était le critère de jugement principal.

Le temps de traitement nécessaire pour obtenir un alignement dentaire a été significativement moindre chez le groupe test, la durée a été réduite de 26%.

Ces deux études permettent de mettre en lumière l'intérêt de la LLLT pour réduire la durée de la phase d'alignement dentaire au cours d'un traitement par appareillage fixe. D'autres travaux sont nécessaires pour généraliser ces conclusions à une pratique orthodontique du quotidien.

f. Recherche des paramètres optimaux d'utilisation de la LLLT

Elkattan et al. (36) ont comparé l'effet d'une faible et d'une forte dose d'irradiation laser sur la vitesse du déplacement dentaire et la quantité de récurrence après dépose de l'appareillage chez le lapin.

Un laser InAlAs (arséniure d'indium et de gallium) a été utilisé à une longueur d'onde de 940nm et une puissance de 250W/cm². Seule la densité d'énergie variait entre les groupes. 5000J/cm² et 2500J/cm² ont été utilisés.

L'étude suggère qu'une faible dose (2500J/cm²) engendrerait une quantité de mouvement dentaire plus rapide.

Cependant le taux de rechute le plus important serait également associé à une faible dose.

L'effet de la LLLT sur le déplacement dentaire serait-il durable dans le temps ?

Na et al. (78) ont évalué en 2018 les effets de différentes doses de lumière sur la viabilité et l'activité cellulaire des ostéoblastes, des ostéocytes et des ostéoclastes.

Ils ont conclu que la prolifération des ostéoblastes, la différenciation des ostéoclastes et l'activité de résorption osseuse sont fonction de la dose et du temps.

L'effet majeur de la LLLT sur les ostéoblastes se produit plus tard que sur les ostéoclastes. Il existe des doses optimales mais également des limites de doses. La LLLT ne stimule pas la prolifération des ostéocytes ni appliquée à des doses faibles et ni à des doses élevées.

g. Revues systématiques

Plusieurs auteurs ont réalisé des revues systématiques sur le sujet. Tous sont d'accord pour conclure que la LLLT accélère significativement le déplacement dentaire mais que les études sont de faible qualité avec des niveaux de preuve insuffisants. D'autres travaux sont nécessaires (11)(31)(43)(53)(118).

La littérature scientifique regorge d'études en faveur de la LLLT pour accélérer le déplacement dentaire. Cependant l'hétérogénéité des protocoles et l'absence de consensus concernant les paramètres d'utilisation du laser ne nous permettent pas de généraliser ces résultats et d'intégrer la LLLT à l'arsenal thérapeutique de l'orthodontiste.

CONCLUSION

La coopération du patient est un élément clé pour la réussite thérapeutique.

Douleur et durée du traitement sont des paramètres qui peuvent largement altérer la relation patient–praticien et donc avoir une influence négative sur la coopération.

Les conséquences sont l'arrêt précoce et la non-observance des rendez-vous et des consignes par les patients. Le bon déroulement du traitement est ainsi perturbé, ce qui peut conduire à un échec thérapeutique.

Différentes solutions existent pour gérer la douleur en orthodontie. Les antalgiques sont la méthode la plus utilisée. Mais les effets secondaires, la toxicité et les contre-indications médicamenteuses ont poussé les scientifiques à chercher des alternatives thérapeutiques pour apaiser les patients.

L'accélération du déplacement dentaire intrigue et fascine depuis plusieurs années. Différentes solutions ont été envisagées, la plupart sont chirurgicales. L'inconfort pour le patient, le risque médical et les complications post opératoires (cicatrices, résorptions radiculaires...) ont motivé la communauté scientifique à chercher des alternatives thérapeutiques pour réduire la durée des traitements.

Aussi, le laser utilisé à faible intensité, (Low Level Laser Therapy) s'est imposé comme une alternative intéressante. Son utilisation en orthodontie est récente. Elle consiste à utiliser la lumière à faibles niveaux d'énergie ou des diodes électroluminescentes. C'est une « luminothérapie » utilisant un spectre lumineux allant du rouge à l'infrarouge (600-1000 nm). On l'appelle aussi la photobio-stimulation ou photobio-modulation.

Il aurait une action antalgique par l'atténuation de la phase inflammatoire présente à différents stades d'un traitement orthodontique et un effet bio-stimulant sur l'os.

La littérature regorge d'articles mettant en avant l'efficacité de la LLLT dans la gestion de la douleur et dans l'accélération du déplacement dentaire.

Cependant les protocoles sont très hétérogènes, voire controversés et pour la plupart incompatibles avec une pratique orthodontique du quotidien. Aucun consensus scientifique n'est établi concernant le type de laser, la longueur d'onde, la dose et le protocole d'application de la LLLT.

Il s'avère donc indispensable de réaliser des études supplémentaires qui évalueront les paramètres optimaux d'utilisation du laser et dont les protocoles seront compatibles avec une pratique d'orthodontie de cabinet. Elles devront être de qualité, harmonisées et réalisées sur un grand nombre de patients.

La LLLT va-t-elle trouver sa place dans l'arsenal thérapeutique de l'orthodontiste ?

BIBLIOGRAPHIE

1. Abreu Lucas Guimarães, Melgaço Camilo Aquino, Abreu Mauro Henrique Nogueira Guimaraes et Al. Parent-assessed quality of life among adolescents undergoing orthodontic treatment: a 12-month follow-up. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2015; 20, 5, 94-100.
2. Abtahi M, Saghravanian N, Poosti M, Shafae H. Histological evaluation of orthodontic tooth movement following low level laser irradiation in rabbits. *Electronic Physician*. 2018; 10, 1, p. 6219-6222.
3. Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé. Evaluation et stratégie de prise en charge de la douleur aiguë en ambulatoire chez l'enfant de 1 mois à 15 ans [en ligne]. Disponible sur : <https://has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/doulenf4.pdf> (Page consultée le 06/04/2020).
4. Al-Melh M. Abu, Andersson L. The effect of a lidocaine/prilocaine topical anesthetic on pain and discomfort associated with orthodontic elastomeric separator placement. *Progress in Orthodontics*. 2017; 18, 1, 9 p.
5. Alazzawi MMJ, Husein A, Alam MK, Hassan R, Shaari R, Azlina A et al. Effect of low level laser and low intensity pulsed ultrasound therapy on bone remodeling during orthodontic tooth movement in rats. *Progress in Orthodontics*. 2018, 19, 1, p. 10.
6. Alikhani M, Alansari S, Sangsuwon C et al. Micro-osteoperforations: Minimally invasive accelerated tooth movement. *Seminars in Orthodontics*. 2015; 21, 3, 162-169.
7. Aljudaibi S, Duane B. Non-pharmacological pain relief during orthodontic treatment. *Evidence-Based Dentistry*. 2018; 19, 2, 48-49.
8. Almallah MME, Hajeer MY, Almahdi WH et Al. Assessment of a single versus double application of low-level laser therapy in pain reduction following orthodontic elastomeric separation: A randomized controlled trial. *Dental and Medical Problems*. 2020, 57; 1, 45-52.
9. AlSayed Hasan MMA, Sultan K, Hamadah O. Evaluating low-level laser therapy effect on reducing orthodontic pain using two laser energy values: a split-mouth randomized placebo-controlled trial. *European Journal of Orthodontics*. 2018; 40, 32-38
10. AlSayed Hasan MMA, Sultan K, Hamadah O. Low-level laser therapy effectiveness in accelerating orthodontic tooth movement: A randomized controlled clinical trial. *The Angle Orthodontics*. 2017; 87, 4, 499-504.

11. AlShahrani I, Togoo RA, Hosmani J, Alhaizaey A. Photobiomodulation in acceleration of orthodontic tooth movement: A systematic review and meta analysis. *Complementary Therapies in Medicine*. 2019; 47, 9 p.
12. AnbuSelvan GJ, Raja S, Vilvanathan P, Megabob N, Prabhakar K. Changing concepts of positive patient communication in dentistry and orthodontics: South Indian perspective. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*. 2013, 5, Supplément 1, S109-112
13. Antunes HS, de Azevedo AM, da Silva Bouzas LF, Adão CAE, Pinheiro CT, Mayhe R, et al. Low-power laser in the prevention of induced oral mucositis in bone marrow transplantation patients: a randomized trial. *Blood*. 2007; 109, 5, 2250-2255.
14. Arumughan S, Somaiah S, Muddaiah S et Al. A Comparison of the Rate of Retraction with Low-level Laser Therapy and Conventional Retraction Technique. *Contemporary Clinical Dentistry*. 2018 ; 9, 2, 260-266.
15. Association des hôpitaux de Paris. Livret douleur [En ligne]. Disponible sur : https://www.association-afvd.com/images/telechargement/documentation_professionnels/Livret_douleur.pdf (Page consultée le 06/04/2020).
16. Banerjee S, Banerjee R, Shenoy U et Al. Effect of orthodontic pain on quality of life of patients undergoing orthodontic treatment. *Indian Journal of Dental Research*. 2018 ; 29, 1, 4.
17. Bannwarth B. Antalgiques : paliers de l’OMS et niveau d’efficacité [En ligne]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/en/article/89913> (page consultée le 06/04/2020).
18. Bartlett BW, Firestone AR, Vig KWL et Al. The influence of a structured telephone call on orthodontic pain and anxiety. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists*. 2005 ; 128, 435-441.
19. Bertin P, Vergne-Salle P. Douleur et inflammation. *Revue du Rhumatisme*. 2019 ; 86, A25-29.
20. Boileau Marie-José. Orthodontie de l’enfant et du jeune adulte. Action sur la matrice fonctionnelle et les comportements orofaciaux fonctionnels. Elsevier Masson, 2011, Tome 1.
20. Boileau Marie-José. Orthodontie de l’enfant et du jeune adulte. Action sur la matrice fonctionnelle et les comportements orofaciaux fonctionnels. Elsevier Masson, 2011, Tome 1.
21. Boleta-Ceranto D de CF, de Souza RS, Silverio-Lopes S, Moura NC. Orthodontic post-adjustment pain control with acupuncture. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2014; 19, 4, 100-106.

22. Buyuk SK, Yavuz MC, Genc E, Sunar O. A novel method to accelerate orthodontic tooth movement. *Saudi Medical Journal*. 2018; 39, 2, 203-208.
23. Caccianiga G, Lo Giudice A, Paiusco A et Al. Maxillary Orthodontic Expansion Assisted by Unilateral Alveolar Corticotomy and Low-Level Laser Therapy: A Novel Approach for Correction of a Posterior Unilateral Cross-Bite in Adults. *Journal of Lasers in Medical Sciences*. 2019; 10, 3, 225-229.
24. Caccianiga G, Paiusco A, Perillo L, Nucera R, Pinsino A, Maddalone M, et al. Does Low-Level Laser Therapy Enhance the Efficiency of Orthodontic Dental Alignment? Results from a Randomized Pilot Study. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2017; 35, 8, 421-426.
25. Celebi F, Turk T, Bicakci AA. Effects of low-level laser therapy and mechanical vibration on orthodontic pain caused by initial archwire. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2019; 156, 1, 87-93.
26. Charavet C, Lambert F, Lecloux G, Gall ML. Traitement orthodontique accéléré par corticotomies : quelles sont les alternatives minimalement invasives ? *L'Orthodontie Française*. 2019; 90, 1, 5-12.
27. Charavet C, Lecloux G, Jackers N, Albert A, Lambert F. Piezocision-assisted orthodontic treatment using CAD/CAM customized orthodontic appliances: a randomized controlled trial in adults. *European Journal of Orthodontics*. 2019; 41, 5, 495-501.
28. Chung H, Dai T, Sharma SK et Al. The Nuts and Bolts of Low-level Laser (Light) Therapy. *Annals of Biomedical Engineering*. 2012; 40, 2, 516-33.
29. Cotler HB, Chow RT, Hamblin MR, Carroll J. The Use of Low Level Laser Therapy (LLLT) For Musculoskeletal Pain. *MOJ orthopedics & rheumatology*. 2015 ; 2, 5, 16 p.
30. Coutant G. L'évaluation de la douleur [En ligne]. Disponible sur : <http://www.infirmiers.com/etudiants-en-ifsu/cours/l-evaluation-de-la-douleur.html> (Page consultée le 06/04/2020)
31. Cronshaw M, Parker S, Anagnostaki E et Al. Systematic Review of Orthodontic Treatment Management with Photobiomodulation Therapy. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*. 2019; 37, 12, 862-868.
32. Da Costa EO, Blagitz MN, Normando D. Impact of catastrophizing on pain during orthodontic treatment. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2020; 25, 1, 64-69.
33. Deana NF, Zaror C, Sandoval P et Al. Effectiveness of Low-Level Laser Therapy in Reducing Orthodontic Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pain Research & Management* [En ligne] Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5635293/> (Page consultée le 06/04/2020)

34. Direction Générale de l'Offre de Soins. Ministère des Solidarités et de la Santé. La douleur [En ligne] Disponible sur : <http://solidarites-sante.gouv.fr/soins-et-maladies/prises-en-charge-specialisees/douleur/article/la-douleur> (Page consultée le 02/04/2020)
35. Eells JT, Henry MM, Summerfelt P. et Al. Therapeutic photobiomodulation for methanol-induced retinal toxicity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2003; 100, 6, 3439-3444.
36. Elkattan AE, Gheith M, Fayed MS, Yazeed MAE, Farrag A-RH, Khalil WKB. Effects of Different Parameters of Diode Laser on Acceleration of Orthodontic Tooth Movement and Its Effect on Relapse: An Experimental Animal Study. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*. 2019; 7, 3, 412-420.
37. Erdinç AME, Dinçer B. Perception of pain during orthodontic treatment with fixed appliances. *European Journal of Orthodontics*. 2004; 26, 1, 79-85.
38. Eslamipour F, Motamedian SR, Bagheri F. Ibuprofen and Low-level Laser Therapy for Pain Control during Fixed Orthodontic Therapy: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials and Meta-analysis. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. 2017; 18, 6, 527-533.
39. Farias RD, Closs LQ, Miguens SAQ. Evaluation of the use of low-level laser therapy in pain control in orthodontic patients: A randomized split-mouth clinical trial. *The Angle Orthodontist*. 2016; 86, 2, 193-198.
40. Farid KA, Eid AA, Kaddah MA et Al. The effect of combined corticotomy and low level laser therapy on the rate of orthodontic tooth movement: split mouth randomized clinical trial. *Laser Therapy*. 2019; 28, 4, 275-283.
41. Farzanegan F, Zebarjad SM, Alizadeh S et Al. Pain reduction after initial archwire placement in orthodontic patients: a randomized clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2012; 141, 2, 169-173.
42. Fleming PS, Strydom H, Katsaros C et Al. Non-pharmacological interventions for alleviating pain during orthodontic treatment. *The Cochrane Database of Systematic Reviews* [En ligne]. 2016 Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6463902/>
43. Ge MK, He WL, Chen J et Al. Efficacy of low-level laser therapy for accelerating tooth movement during orthodontic treatment: a systematic review and meta-analysis. *Lasers in Medical Science*. 2015; 30, 5, 1609-1618.
44. Gil APS, Haas OL, Méndez-Manjón I, Masiá-Gridilla J, Valls-Ontañón A, Hernández-Alfaro F, et al. Alveolar corticotomies for accelerated orthodontics: A systematic review. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery: Official Publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. 2018; 46, 3, 438-445.

45. Glez D, Hourdin S, Sorel O. Er:YAG laser in periodontics and implication in the orthodontic treatment plan. *L'Orthodontie Française*. 2010; 81, 1, 19-26.
46. Grossman N, Schneid N, Reuveni H et Al. 780 nm low power diode laser irradiation stimulates proliferation of keratinocyte cultures: Involvement of reactive oxygen species. *Lasers in Surgery and Medicine*. 1998; 22, 4, 212-218.
47. Gur A, Sarac AJ, Cevik R et Al. Efficacy of 904 nm gallium arsenide low level laser therapy in the management of chronic myofascial pain in the neck: a double-blind and randomize-controlled trial. *Lasers in Surgery and Medicine*. 2004; 35, 3, 229-235.
48. Guram G, Reddy RK, Dharamsi AM et Al. Evaluation of Low-Level Laser Therapy on Orthodontic Tooth Movement: A Randomized Control Study. *Contemporary Clinical Dentistry*. 2018; 9, 1, 105-109.
49. Hawkins D, Abrahamse H. Effect of multiple exposures of low-level laser therapy on the cellular responses of wounded human skin fibroblasts. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2006; 24, 6, 705-714.
50. Huang Y-Y, Sharma SK, Carroll J, Hamblin MR. Biphasic dose response in low level light therapy - an update. *Dose Response*. 2011; 9, 4, 602-618.
51. Huang R, Wang J, Wu D et Al. The effects of customised brainwave music on orofacial pain induced by orthodontic tooth movement. *Oral Diseases*. 2016; 22, 8, 766-774.
52. Huynh NC-N, Everts V, Pavasant P, Ampornaramveth RS. Interleukin-1 β induces human cementoblasts to support osteoclastogenesis. *International Journal of Oral Science*. 2017; 9, 12, e5.
53. Imani MM, Golshah A, Safari-Faramani R et Al. Effect of Low-level Laser Therapy on Orthodontic Movement of Human Canine: a Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Clinical Trials. *Acta Informatica Medica*. 2018; 26, 2, 139-143.
53. Ireland AJ, Ellis P, Jordan A et Al. Comparative assessment of chewing gum and ibuprofen in the management of orthodontic pain with fixed appliances: A pragmatic multicenter randomized controlled trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2016; 150, 2, 220-227.
54. Istria N, Ricbourg B. Anatomie sensitive de la face. *Encyclopédie Médico-Chirurgicale [En ligne]*. Disponible sur: <https://www-em-premium-com.lama.univ-amu.fr/article/55500> (Page consultée le 03/04/2020)
55. Jose JA, Somaiah S, Muddaiah S et Al. A Comparative Evaluation of Interleukin 1 Beta and Prostaglandin E2 with and without Low-level Laser Therapy during En masse Retraction. *Contemporary Clinical Dentistry*. 2018; 9, 2, 267-275.
56. Kang Y, Rabie ABM, Wong RWK. A review of laser applications in orthodontics. *International Journal of Orthodontics*. 2014, 25, 1, 47-56.

57. Karu TI. Mitochondrial Signaling in Mammalian Cells Activated by Red and Near-IR Radiation. *Photochemistry and Photobiology*. 2008; 84, 5; 1091-1099.
58. Karu TI. Multiple roles of cytochrome c oxidase in mammalian cells under action of red and IR-A radiation. *IUBMB Life*. 2010; 62, 8, 607-610.
59. Karu T. *Photobiology of Low-power Laser Effects: Health Physics*. 1989; 56; 5, 691-704.
60. Karu T. Primary and secondary mechanisms of action of visible to near-IR radiation on cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 1999; 49, 1, 1-17.
61. Karu T, Pyatibrat L, Kalendo G. Irradiation with He-Ne laser increases ATP level in cells cultivated in vitro. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 1995; 27, 3, 219-223.
62. Karu TI, Pyatibrat LV, Kolyakov SF, Afanasyeva NI. Absorption measurements of a cell monolayer relevant to phototherapy: Reduction of cytochrome c oxidase under near IR radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2005; 81, 2, 98-106.
63. Kenneth K. Lew. Attitudes and perceptions of adults towards orthodontic treatment in an Asian community. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*. 2018; 21, 1, 31-35
64. Kreisler M, Christoffers AB, Al-Haj H et Al. Low level 809-nm diode laser-induced in vitro stimulation of the proliferation of human gingival fibroblasts. *Lasers in Surgery and Medicine*. 2002; 30, 5, 365-369.
65. Krishnan V. Orthodontic pain: from causes to management--a review. *European Journal of Orthodontics*. 2007; 29, 2, 170-179.
66. Krukemeyer AM, Arruda AO, Inglehart MR. Pain and Orthodontic Treatment Patient Experiences and Provider Assessments. *The Angle Orthodontist*. 2009; 79, 6, 1175-1181.
67. Kurt G, İşeri H, Kişnişçi R, Özkaynak Ö. Rate of tooth movement and dentoskeletal effects of rapid canine retraction by dentoalveolar distraction osteogenesis: A prospective study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2017; 152, 2, 204-213.
68. Le Gall M, Sastre J. The fundamentals of tooth movement. *International Orthodontics*. 2010 ; 8, 1, 1-13.
69. Le laser Er:YAG dans les phases de collage et de dépose des brackets lors du traitement orthodontique [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.dental-tribune.com/clinical/le-laser-eryag-dans-les-phases-de-collage-et-de-depose-des-brackets-lors-du-traitement-orthodontique/> (Page consultée le 22/03/2020)

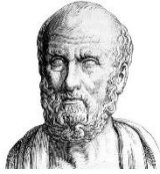
70. Li FJ, Zhang JY, Zeng XT, Guo Y. Low-level laser therapy for orthodontic pain: a systematic review. *Lasers in Medical Science*. 2015; 30, 6:1789-1803.
71. Liao Z, Elekdag-Turk S, Turk T et Al. Computational and clinical investigation on the role of mechanical vibration on orthodontic tooth movement. *Journal of Biomechanics*. 2017; 60, p. 57-64.
72. Lo Giudice A, Nucera R, Perillo L et Al. Is Low-Level Laser Therapy an Effective Method to Alleviate Pain Induced by Active Orthodontic Alignment Archwire? A Randomized Clinical Trial. *The Journal of Evidence-Based Dental Practice*. 2019; 9, 1, 71-78.
73. Long H, Pyakurel U, Wang Y, Liao L, Zhou Y, Lai W. Interventions for accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review. *The Angle Orthodontist*. 2013 ; 83, 1 :164-171.
74. Mareschi DS. Frénectomie labiale supérieure. *Dental tribune*. 2014, 4.
75. Martins IP, Martins RP, Caldas SGFR et Al. Low-level laser therapy (830 nm) on orthodontic pain: blinded randomized clinical trial. *Lasers in Medical Science*. 2019; 34, 2:281-286.
76. Mistry D, Dalci O, Papageorgiou SN et Al. The effects of a clinically feasible application of low-level laser therapy on the rate of orthodontic tooth movement: A triple-blind, split-mouth, randomized controlled trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2020; 157, 4:444-453.
77. Mohammad-Hoseyni A, Pirmoradian-Najafabadi M, Ashnagar S et Al. Effect of Low Level Laser Therapy on Pain Reduction After Midpalatal Expansion in Rats. *Journal of Dentistry*. 2015; 12, 9:655-661.
78. Na S, TruongVo T, Jiang F et Al. Dose analysis of photobiomodulation therapy on osteoblast, osteoclast, and osteocyte. *Journal of Biomedical Optics*. 2018; 23, 7: 1-8.
79. Nalbantgil D, Oztoprak MO, Tozlu M et Al. Effects of different application durations of ER:YAG laser on intrapulpal temperature change during debonding. *Lasers in Medical Science*. 2011; 26, 6:735-740.
80. Nalcaci R, Cokakoglu S. Lasers in orthodontics. *European Journal of Dentistry*. 2013; 7, Suppl 1, S119-125.
81. Nevesny Caroline. Le traitement orthodontique : peut-on réellement l'accélérer ? Thèse de doctorat d'université. Aix-Marseille Université : faculté d'Odontologie de Marseille, 2019, 46 p.
82. Oliveira FA de, Matos AA, Matsuda SS et Al. Low level laser therapy modulates viability, alkaline phosphatase and matrix metalloproteinase-2 activities of osteoblasts. *Journal of Photochemistry and Photobiology. B, Biology*. 2017; 169: 35-40.

83. Otasevic M, Naini FB, Gill DS et Al. Prospective randomized clinical trial comparing the effects of a masticatory bite wafer and avoidance of hard food on pain associated with initial orthodontic tooth movement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2006; 130, 1, 6, e9-6.e15.
84. Oztoprak MO, Nalbantgil D, Erdem AS et Al. Debonding of ceramic brackets by a new scanning laser method. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2010; 138, 2: 195-200.
85. Pichard Leandri E. Les outils d'évaluation de la douleur. *L'aide-soignante*. 2000; 17-21.
86. Prasad SMV, Prasanna TR, Kumaran V et Al. Low-Level Laser Therapy : A Noninvasive Method of Relieving Postactivation Orthodontic Pain-A Randomized Controlled Clinical Trial. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*. 2019; 11, Suppl 2, S228-231.
87. Qamruddin I, Alam MK, Abdullah H, Kamran MA, Jawaid N, Mahroof V. Effects of single-dose, low-level laser therapy on pain associated with the initial stage of fixed orthodontic treatment: A randomized clinical trial. *Korean Journal of Orthodontics*. 2018; 48, 2:90-97.
88. Qamruddin I, Alam MK, Fida M, Khan AG. Effect of a single dose of low-level laser therapy on spontaneous and chewing pain caused by elastomeric separators. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2016; 149, 1: 62-66.
89. Qamruddin I, Alam MK, Mahroof V, Fida M, Khamis MF, Husein A. Effects of low-level laser irradiation on the rate of orthodontic tooth movement and associated pain with self-ligating brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2017; 152, 5: 622-630.
90. Raji SH, Birang R, Majdzade F et Al. Evaluation of shear bond strength of orthodontic brackets bonded with Er-YAG laser etching. *Dental Research Journal*. 2012 ; 9, 3 : 288-293.
91. Rey G, Missika P. Les lasers et la chirurgie dentaire - Innovations et stratégies cliniques. 2010.
92. Rocca J-P. Les lasers en odontologie. CdP. (Mémento). 2008.
93. Sakamoto M, Fukunaga T, Sasaki K et Al. Vibration enhances osteoclastogenesis by inducing RANKL expression via NF- κ B signaling in osteocytes. *Bone*. 2019; 123, p. 56-66.
94. Sandhu SS, Sandhu J. Effect of physical activity level on orthodontic pain perception and analgesic consumption in adolescents. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2015; 148, 4: 618-627.

95. Sergl HG, Klages U, Zentner A. Pain and discomfort during orthodontic treatment: causative factors and effects on compliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1998; 114, 6: 684-691.
96. Shi Q, Yang S, Jia F. Does low level laser therapy relieve the pain caused by the placement of the orthodontic separators? --A meta-analysis. *Head & Face Medicine*. 2015; 11:28.
97. Sobouti F, Khatami M, Chiniforush N et Al. Effect of single-dose low-level helium-neon laser irradiation on orthodontic pain: a split-mouth single-blind placebo-controlled randomized clinical trial. *Progress in Orthodontics* [En ligne]. 2015 Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4883614/> (Page consultée le 04/04/2020)
98. Song S, Zhang Y, Fong C-C et Al. cDNA Microarray Analysis of Gene Expression Profiles in Human Fibroblast Cells Irradiated with Red Light. *Journal of Investigative Dermatology*. 2003; 120, 5: 849-57.
99. Stein A, Benayahu D, Maltz L, Oron U. Low-level laser irradiation promotes proliferation and differentiation of human osteoblasts in vitro. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2005; 23, 2: 161-166.
100. Strobl K, Bahns TL, Willham L, Bishara SE, Stwalley WC. Laser-aided debonding of orthodontic ceramic brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1992; 101, 2: 152-158.
101. Tocchio RM, Williams PT, Mayer FJ, Standing KG. Laser debonding of ceramic orthodontic brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1993; 103, 2: 155-62.
102. Topolski F, Moro A, Correr GM, Schimim SC. Optimal management of orthodontic pain. *Journal of Pain Research*. 2018; 11: 589-598.
103. Treps N, Bretenaker F. *Le laser*. EDP Sciences; (Une introduction à). 2010.
104. Tsuka Y, Kunimatsu R, Gunji H et Al. Effects of Nd:YAG low-level laser irradiation on cultured human osteoblasts migration and ATP production: in vitro study. *Lasers in Medical Science*. 2019; 34, 1: 55-60.
105. Varella AM, Revankar AV, Patil AK. Low-level laser therapy increases interleukin-1 β in gingival crevicular fluid and enhances the rate of orthodontic tooth movement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2018; 154, 4: 535-544.e5.
106. Vidal. ASPIRINE UPSA - EurekaSanté par VIDAL [En ligne]. Disponible sur : <https://eurekasante.vidal.fr/medicaments/vidal-famille/medicament-oaspup01-ASPIRINE-UPSA.html> (Page consultée le 06/04/2020)

107. Vidal. IBUPROFÈNE EG 400 mg - EurekaSanté par VIDAL [En ligne]. Disponible sur : <https://eurekasante.vidal.fr/medicaments/vidal-famille/medicament-gp1785-IBUPROFENE-EG-400-mg.html> (Page consultée le 08/04/2020)
108. Vidal. IBUPROFÈNE MYLAN Enfant et Nourrisson - EurekaSanté par VIDAL [En ligne]. Disponible sur: <https://eurekasante.vidal.fr/medicaments/vidal-famille/medicament-gp6215-IBUPROFENE-MYLAN-Enfant-et-Nourrisson.html> (Page consultée le 08/04/2020)
109. Vidal. PARACETAMOL - EurekaSanté par VIDAL [En ligne]. Disponible sur : <https://eurekasante.vidal.fr/medicaments/bon-usage/paracetamol-aspirine-ains.html> (Page consultée le 07/04/2020)
110. Vinck EM, Cagnie BJ, Cornelissen MJ, Declercq HA, Cambier DC. Increased fibroblast proliferation induced by light emitting diode and low power laser irradiation. *Lasers in Medical Science*. 2003;18, 2: 95-99.
111. The World Association for photobiomodulation Therapy (WALT). Dosage Recommendations [En ligne]. Disponible sur : <https://waltza.co.za/documentation-links/recommendations/dosage%20recommendations/> (Page consultée le 31/03/2020)
112. Whelan HT, Smits RL, Buchman EV et Al. Effect of NASA light-emitting diode irradiation on wound healing. *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery*. 2001; 19, 6: 305-314.
113. Woodhouse NR, DiBiase AT, Papageorgiou SN et Al. Supplemental vibrational force does not reduce pain experience during initial alignment with fixed orthodontic appliances: a multicenter randomized clinical trial. *Scientific Reports* [En ligne]. 5. Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4661602/> (Page consultée le 04/04/2020)
114. Wu S, Chen Y, Zhang J et Al. Effect of low-level laser therapy on tooth-related pain and somatosensory function evoked by orthodontic treatment. *International Journal of Oral Science* [En ligne]. 10, 3. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6028457/> (Page consultée le 03/04/2020)
115. Wu S, Xing D. Intracellular signaling cascades following light irradiation. *Laser & Photonics Reviews*. 2014;8, 1: 115-30.
116. Yang H, Liu J, Yang K. Comparative Study of 660 and 830 nm Photobiomodulation in Promoting Orthodontic Tooth Movement. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*. 2019; 37, 6: 349-355.
117. Yassaie S, Fekrazad R, Shahraki N, Goldani Moghadam M. A Comparison of Shear Bond Strengths of Metal and Ceramic Brackets using Conventional Acid Etching Technique and Er:YAG Laser Etching. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*. 2014; 8, 1: 27-34.

- 118.** Yi J, Xiao J, Li H, Li Y, Li X, Zhao Z. Effectiveness of adjunctive interventions for accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review of systematic reviews. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2017; 44, 8: 636-654.
- 119.** Zaniboni E, Bagne L, Camargo T et Al. Do electrical current and laser therapies improve bone remodeling during an orthodontic treatment with corticotomy ? *Clinical Oral Investigations*. 2019; 23, 11: 4083-4097.



SERMENT MEDICAL

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Que je sois déshonorée et méprisée de mes confrères si j'y manque.

ADRET Justine – Applications de la Low Level Laser Therapy (LLLT) en orthopédie dento-faciale

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix-Marseille Université : 2021

Rubrique de classement : Orthodontie

Résumé :

Le laser peut être utilisé à basse puissance afin de modifier le comportement cellulaire : c'est la low level laser therapy (LLLT). La coopération du patient est un élément clé pour la réussite thérapeutique. La douleur et la durée du traitement sont des paramètres qui peuvent altérer la coopération du patient et conduire à un échec thérapeutique. D'après une revue de la littérature scientifique des 5 dernières années, la low level laser therapy permettrait d'améliorer la gestion de la douleur et d'accélérer le déplacement dentaire en orthopédie dento-faciale. Cependant les protocoles sont très hétérogènes et pour la plupart incompatibles avec une pratique orthodontique du quotidien. Aucun consensus scientifique n'est établi concernant le type de laser, la longueur d'onde, la dose et le protocole d'application de la LLLT. Il s'avère indispensable de réaliser des études supplémentaires qui évalueront les paramètres optimaux d'utilisation du laser et dont les protocoles seront compatibles avec une pratique d'orthodontie de cabinet. Elles devront être de qualité, harmonisées et réalisées sur un grand nombre de patients.

Mots-clés : *Orthodontie ; Low level laser therapy ; Photobiomodulation ; Photobiostimulation ; Déplacement dentaire ; Douleur.*

ADRET Justine – Applications of low-level laser therapy in dentofacial orthopedics

Abstract:

The laser can be used at low power to change cellular behavior: it is the low level laser therapy. Patient cooperation is a key element of therapeutic success. The pain and duration of treatment are parameters that can alter patient cooperation and lead to treatment failure. According to a review of scientific literature over the last five years, low-level laser therapy would improve pain management and accelerate the movement of teeth in dentofacial orthopedias. However, the protocols are very heterogeneous and mostly incompatible with daily orthodontic practice. There is no scientific consensus regarding the type of laser protocol, wavelength, dose and application for the LLLT. It is essential to conduct additional studies that will evaluate the optimal parameters of laser use and whose protocols will be compatible with orthodontic office practice. They must be of high quality, harmonized and realized on a large number of patients.

Keywords: *Orthodontics ; Low level laser therapy ; Photobiomodulation ; Photobiostimulation ; Movement of teeth ; Pain.*