

Le laser diode en orthodontie : applications cliniques et perspectives

Frank POURRAT*

63, avenue Victor Hugo, 33110 le Bouscat, France

MOTS-CLÉS :

Laser / Laser diode /
Orthodontie / Chirurgie /
Photobiomodulation /
Biomodulation /
Biostimulation

RÉSUMÉ – Introduction : Le laser diode, apparu à la fin du siècle dernier, prend de plus en plus d'importance au sein des différentes spécialités odontologiques, plus particulièrement en orthodontie où les premières publications datent de 2004. Aujourd'hui, il est devenu un instrument indispensable pour l'orthodontiste, qui peut faire bénéficier ses patients de cette technologie et de son apport essentiel tant sur le plan ablatif que pour la photobiomodulation. **Matériels et méthodes :** L'article décrira toutes les applications actuelles du laser diode en orthodontie, y compris les nouvelles perspectives qu'il peut engendrer. **Résultats :** A travers la bibliographie, nous avons pu recenser les principales actions ablatives et de photobiomodulation en fonction des différentes pathologies et de nos traitements orthodontiques souhaités. Nous n'avons pas développé les différents protocoles de manière exhaustive. **Conclusion :** Il existe certainement encore de nombreuses applications du laser dans notre spécialité qui ne sont pas suffisamment développées ou connues.

KEYWORDS:

Laser / Diode laser /
Orthodontics / Surgery /
Photobiomodulation /
Biomodulation /
Biostimulation

ABSTRACT – *Diode laser in orthodontics: clinical applications and perspectives.*

Introduction: The diode laser, which appeared at the end of the last century, is becoming more and more important in the various dental specialties, more particularly in orthodontics where the first publications date back to 2004. Today it has become an indispensable instrument for the orthodontist, who can make his patients benefit from this technology and its essential contribution both in terms of ablative treatment and photobiomodulation. **Materials and methods:** The article will describe all the current applications of the diode laser in orthodontics, including the new perspectives that it can generate. **Results:** Through the bibliography, we were able to identify the main surgery and photobiomodulation actions according to the different pathologies and our desired orthodontic treatments. We have not developed the different protocols in an exhaustive way. **Conclusion:** There are certainly still many applications of laser in our specialty that are not sufficiently developed or known.

1. Introduction

Le numéro de juin 2020 de la revue *Seminars in orthodontics* ouvrait son sommaire à Robert A. Convissar¹⁰, éditeur invité. Il y écrivait que le laser n'est que très peu utilisé dans la sphère orthodontique. Pourtant nombreuses en sont les applications utiles à notre pratique clinique, que ce soit pour

l'action ablatif comme les frénectomies labiale ou linguale, les fibrotomies, les gingivectomies esthétiques ou bien encore les décapuchonnages ou les fenestrations des dents incluses, retenues ou en cours d'évolution. Toutes ces actions, réalisées avec un laser diode, ont l'avantage de n'entraîner ni saignement ni douleur avec un processus de cicatrisation plus rapide. Enfin, si les orthodontistes n'ont

*Correspondance : frankpourrat@gmail.com

pas le souhait d'entreprendre cet abord chirurgical, le laser peut, par ses effets de basse énergie de photobiomodulation, minimiser la douleur lors de la pose d'appareils, de leurs activations, ou accélérer l'évolution des dents et leur déplacement, ou bien encore accélérer la construction osseuse.

Nous décrirons l'apport du laser dans la prise en charge de toutes les applications favorisant le traitement orthodontique. Une première partie nous permettra de rappeler le fondement scientifique de son application ablative. Dans un deuxième temps, nous développerons par le biais de cas cliniques, l'apport du laser dans la gestion des dents et du parodonte. Enfin, une partie sera consacrée à la photobiomodulation et à ses applications en orthodontie.

2. Généralités

2.1. Qu'est-ce qu'un laser ?

Le terme laser est l'acronyme de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Il est défini comme un dispositif qui produit un faisceau de lumière collimaté, cohérent et monochromatique. Le photon est l'élément de base de l'énergie de la lumière. Quand les électrons renvoient cette énergie, les photons stimulent davantage d'électrons avec des effets successifs jusqu'à ce qu'un nombre suffisant de photons soit produit et que soit ainsi créé un faisceau de lumière. Les lasers peuvent avoir un milieu actif à partir d'un solide (Erbium) ou d'un gaz (CO₂) ou de semi-conducteurs (diode) (Fig. 1).

2.2. Quel est son mode de fonctionnement ?

Nous nous appuyerons sur deux exemples. En été, nous nous préservons de la lumière solaire en portant des vêtements clairs pour la réfléchir, au contraire de l'hiver où nous préférons des vêtements foncés pour absorber un maximum de lumière. Autre exemple, celui de la prise de radiographies, pour laquelle nous revêtons des tabliers protecteurs afin d'éviter l'absorption du rayonnement. Le laser travaille par absorption. La définition d'un chromophore est un composé ou une molécule absorbant la lumière dans des longueurs d'onde spécifiques de l'énergie lumineuse. C'est donc l'absorption de l'énergie laser dans le tissu cible par les chromophores du tissu cible qui entraîne un effet thérapeutique.

Les interactions du laser sont donc l'absorption et la réflexion mais aussi deux autres interactions, à savoir la transmission et la dispersion, la dispersion

permettant l'action de la photobiomodulation dans la zone affectée.

2.3. Pourquoi des protections oculaires ?

Les lasers diode qui sont des lasers que nous pouvons facilement utiliser en orthodontie ont une transmission à travers la cornée jusqu'à la chambre postérieure car ils n'ont pas les chromophores spécifiques, alors que la rétine les possède. Ceci les rend dangereux sans port de lunettes spécifiques⁴⁹.

2.4. Comment avoir un effet ablatif avec un laser diode ?

L'interaction du laser diode sur le tissu est l'absorption. Il va donc falloir bloquer cette absorption par le noir, couleur qui absorbe l'énergie de la lumière et empêche les photons de sortir de la pièce à main. Nous appellerons cela activer la fibre ou initier la fibre par dépôt de noir. Le laser sera alors utilisé non pas comme un dispositif optique mais comme un dispositif thermique.

Quelle chaleur développe un laser diode ? Une fibre initiée d'un laser diode développe entre 750° et 1200° C. Cette activation, avec du noir de Kohl par exemple, permettra de réaliser une coupe de la même valeur que le diamètre de la fibre.

Comme les chromophores pour ce dispositif sont particulièrement la mélanine, l'hémoglobine et l'oxyhémoglobine, nous pourrions l'utiliser avec une fibre non activée pour traiter les angiomes ou les aphtes.

2.5. Quel est l'intérêt des lasers diode multi-longueur d'onde ?

Aujourd'hui, pour permettre différents traitements, les constructeurs, les ingénieurs proposent des lasers avec plusieurs longueurs d'onde. Par exemple, nous trouvons sur le marché des lasers diode avec trois longueurs d'onde : 450 nm, 635 nm et 808 nm, chacune ayant, seule ou cumulée, un objectif thérapeutique spécifique.

2.6. Quelle est la différence conceptuelle des lasers diode ?

La particularité de ce laser est qu'il n'y a pas de cavité de résonance, le simple clivage, l'inversion de population (nécessaire à la naissance du faisceau) se font grâce à un courant électrique, et non à une source d'énergie lumineuse. Sa puissance varie en général de 2 à 20 W.

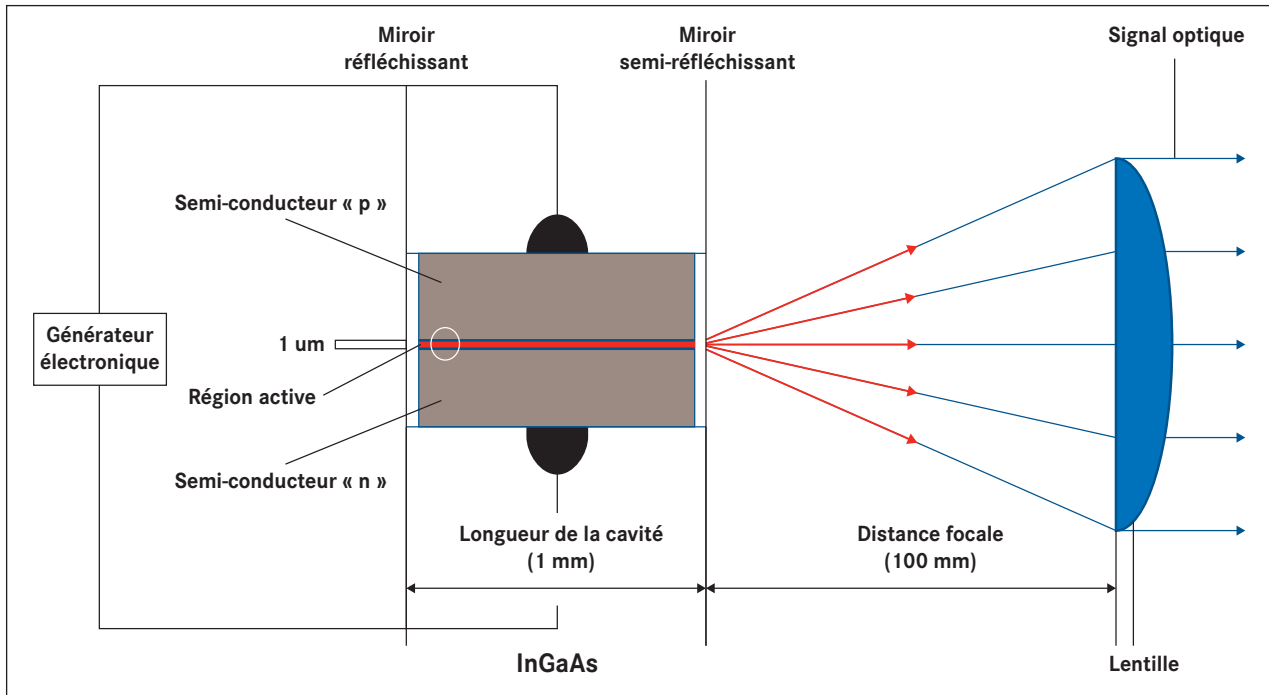


Figure 1

Schéma d'un laser diode : les semi-conducteurs remplacent la cavité de résonance par la conversion électrique.

3. Les effets ablatifs

3.1. Les freins et les brides

3.1.1. Le frein labial supérieur

Plusieurs classifications morphologiques ont été décrites depuis les années 30. Plus récemment, dans la classification de Mirko, la hauteur de son insertion sur cette face osseuse détermine son attachement⁴⁸. Il décrit quatre types d'attachement :

- Type I : attachement muqueux. Le frein se situe dans la muqueuse alvéolaire et s'étend jusqu'à la ligne muco-gingivale.
- Type II : attachement gingival. Le frein s'étend de la muqueuse alvéolaire jusqu'à la gencive attachée.
- Type III : attachement papillaire. Le frein s'étend de la muqueuse alvéolaire jusqu'à la papille interdenteaire.
- Type IV : attachement papillaire pénétrant. L'insertion du frein s'étend de la muqueuse alvéolaire jusqu'à la papille interdenteaire et au-delà.

Par principe, les frénectomies ne sont réalisées que lorsque les canines définitives sont évoluées. En effet, les diastèmes médians et les freins s'y attendant sont souvent la conséquence des divergences des axes des incisives qui, lors de l'évolution des canines, se parallélisent³⁸. Toutefois, certains objectifs orthodontiques nous obligent à réaliser cette

frénectomie. Comme, par exemple, le souhait de fermer un diastème médian avec un frein de type IV qui s'insère sous la papille bunoïde ou bien une incisive définitive bloquée à la fois suite à l'expulsion précoce de la dent lactéale et au frein de type III.

Notre décision thérapeutique sera donc de passer outre les recommandations de Korbendau³⁹. Une décision partagée avec les parents permettra, après avoir donné les informations, les avantages et les inconvénients, de réaliser l'acte au laser diode (Fig. 2).

3.1.2. Le frein labial inférieur

Le frein inférieur peut avoir plusieurs zones d'insertion. Il peut avoir comme conséquence la récession gingivale d'une ou plusieurs dents. Il est souvent le complément d'un sillon labio-mentonnier marqué et tendu par les muscles buccinateurs, qui vient appuyer sur un parodonte de phénotype fin.

Dans ces conditions et si les objectifs orthodontiques sont de vestibuler les incisives mandibulaires, la décision de sectionner le frein prendra toute son importance, ceci dans la mesure où les racines ne seront pas dénudées. Un diagnostic différentiel de l'environnement parodontal sera très important pour ne pas aboutir à la nécessité d'une greffe gingivale ou d'une tunnelisation (Fig. 3).



Figure 2

Frénectomie labiale supérieure, 810 nm, CW, 3W, fibre 320, photobiomodulation (30'', 0,2 W, beam 0,785 cm²).



Figure 3

Frénectomie labiale inférieure, 810 nm, CW, 3 W, fibre 320 μ , photobiomodulation (30'', 0,2 W, beam 0,785 cm²).

3.1.3. Le frein lingual

La langue est un organe qui joue un rôle dans la déglutition, la phonation, la ventilation, la mastication et la croissance des volumes osseux qui l'entourent. Elle participe en permanence à l'équilibre neuromusculaire de la zone orofaciale. On parle d'ankyloglossie en présence d'un frein lingual court et fibreux ou d'un muscle génioglosse très contracté, entraînant une fusion plus ou moins importante de la langue au plancher buccal. La brièveté du frein lingual est reconnue comme un facteur étiologique de malformations maxillo-faciales.

Le but de cette intervention est de chercher à allonger au maximum le frein pour permettre une augmentation de la mobilité linguale, de façon durable et avec un traumatisme le plus limité possible (Fig. 4).

Une décision partagée avec les accompagnants permettra la compréhension de l'acte et de sa nécessité, quel que soit l'âge du patient. La dysfonction ou la dysmorphie engendrée sera expliquée, ainsi que le pronostic évolutif. Les exercices joueront un rôle majeur dans la cicatrisation.

3.1.4. Les brides

Les brides sont bien souvent négligées. Elles sont pourtant nécessaires lors de la mastication. Ce sont elles qui permettent au bol alimentaire d'être replacé sur les surfaces occlusales des dents pour un nouveau broyage. Si on les regarde attentivement et que l'on effectue une traction, il n'est pas rare de s'apercevoir que leur insertion n'est pas entre deux dents mais au zénith de l'une d'elles. Cela entraîne au cours du temps une récession d'autant plus importante que la dent est en rotation. La dérotation orthodontique va aggraver encore plus le problème (Fig. 5).

3.2. Les dents

3.2.1. Les dents en cours d'évolution

Selon l'Agence Française de Normalisation NF EN 21942-1, une dent en cours d'évolution correspond au phénomène actif qui s'inscrit dans la croissance générale de l'individu.

Les dents en cours d'évolution ne posent aucun problème en elles-mêmes. La seule incertitude est la vitesse d'évolution. Débuter un traitement nécessite parfois d'initier une gingivectomie partielle. En effet, si nous décidons de débiter le traitement en technique de collage indirect, il peut paraître intéressant d'avoir toutes les dents accessibles au collage. Ceci est particulièrement vrai en technique linguale. Nous sommes donc confrontés à la décision thérapeutique d'attente et celle de réaliser une modification du contour gingival pour pouvoir inclure cette dent dans notre traitement.

La plupart du temps, ce sont les parents qui nous poussent à intervenir. En effet, le temps passe et le traitement ne débute pas ou s'allonge avec une incidence financière. L'acte à réaliser est extrêmement simple grâce à une gingivectomie très localisée sous une anesthésie topique, sans douleur et sans saignement, avec l'objectif de réaliser l'empreinte optique ou classique ou bien de coller ensuite une attache (Figs. 6 et 7).

3.2.2. Les dents retenues

Selon l'Agence Française de Normalisation NF EN 21942-1, une dent retenue est une dent immature, gênée dans son éruption, et qui conserve un potentiel évolutif. L'édification radiculaire n'est pas terminée (apex ouvert). Avec la maturation de la dent, la rétention évolue vers l'inclusion ou l'enclavement.



Figure 4

Frénectomie linguale. Combi, CW, 3 W, photobiomodulation (30", 0,3 W, beam Flat Top 1,02 cm²).



Figure 5

Brides 810 nm, CW, 3 W, fibre 300 μ , photobiomodulation (30'', 0,2 W, beam 0,785 cm²).

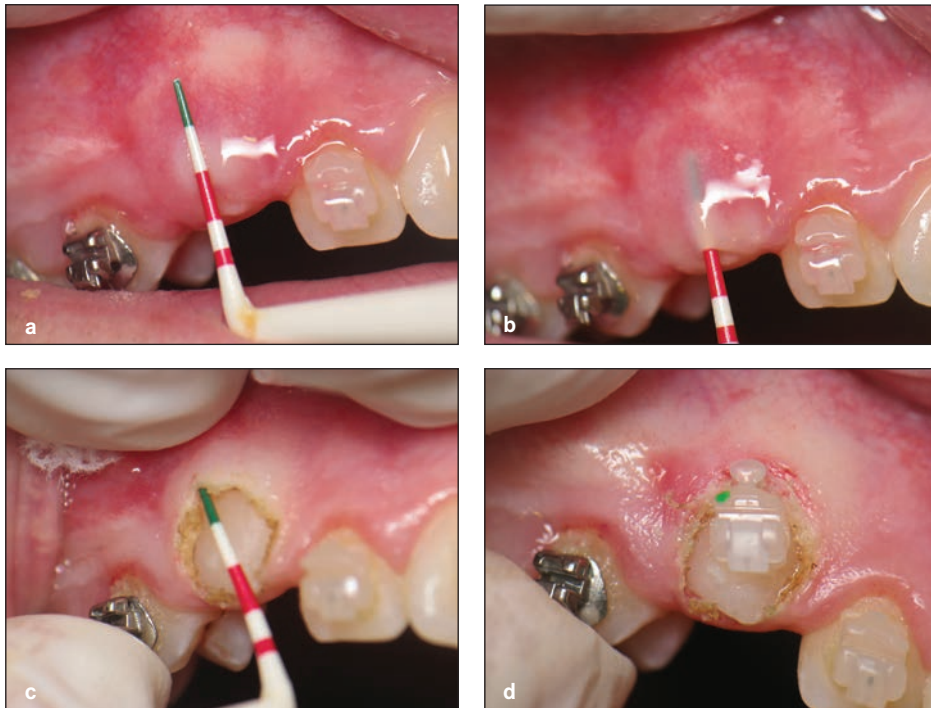


Figure 6

Modification du contour gingival et collage d'une canine en évolution. 810 nm, CW, 1,6 W, fibre 300 μ .

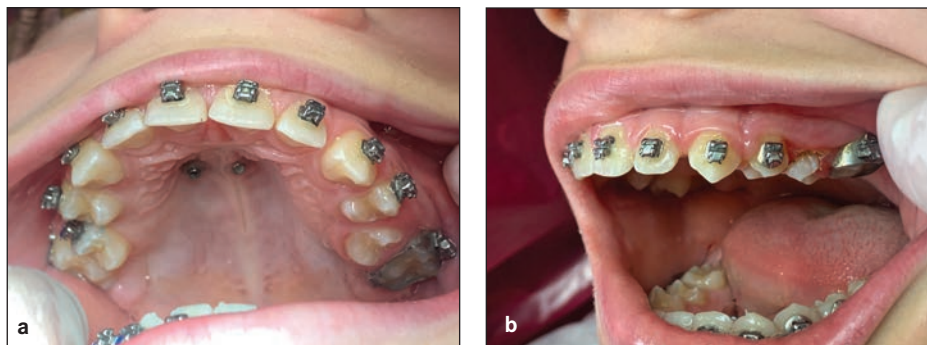


Figure 7

Modification du contour gingival et collage d'une prémolaire en évolution. 810 nm, CW, 1,6 W, fibre 300 μ .

Le manque d'évolution rapide et sa position en rapport avec son environnement nous demandent d'intégrer cette dent dans la globalité du traitement comme les dents en cours d'évolution. Nous pratiquons le même traitement que précédemment. La photomodulation offrira la possibilité d'aider à l'évolution de cette dent (Fig. 8).

3.2.3. Les dents enclavées

Selon l'Agence Française de Normalisation NF EN 21942-1, une dent enclavée est une dent retenue dans le maxillaire au-delà de la date normale de son éruption et dont le sac péri-coronaire est ouvert dans la cavité buccale.

Les choix de traitement pour ce type d'anomalie correspondent aux mêmes exigences que précédemment mais il est important de prévenir la famille et le patient que cette dent peut éventuellement interrompre son déplacement. Une nouvelle évaluation sera faite et de nouvelles décisions thérapeutiques seront à étudier (Fig. 9).

3.2.4. Les dents incluses

Selon l'Agence Française de Normalisation NF EN 21942-1, une dent incluse est une dent retenue dans le maxillaire au-delà de la date normale de son éruption et entourée d'un sac péri-coronaire sans communication avec la cavité buccale.

Le choix de réaliser soi-même le dégagement des dents incluses dépend des seules connaissances et compétences du praticien. En effet, le laser diode est relativement « praticien dépendant » et c'est donc au cours de son apprentissage qu'il choisira de

développer éventuellement son activité autour du laser.

La réalisation de l'acte au laser et la décision thérapeutique seront fonction de l'évaluation de la difficulté à la fois de l'acte lui-même, mais aussi de la mise en place de la dent.

3.2.4.1. Les incisives

Les incisives incluses sont souvent la conséquence, soit de traumatismes du prémaxillaire, soit de la présence de dents surnuméraires. Quelle que soit l'origine de l'inclusion, nous débuterons toujours la prise en charge thérapeutique par des séances sériées de photobiomodulation (PBM). En effet, elles peuvent permettre la reprise de l'évolution de la dent. Si les mouvements ne sont pas enclenchés, alors nous pouvons intervenir sur le plan ablatif.

Les dents surnuméraires peuvent être extraites par le dentiste traitant ou le chirurgien oral dans un premier temps et il peut accompagner les réactions tissulaires de cicatrisation par de la PBM, pour favoriser la venue des incisives. Dans tous les cas d'incisives incluses, il est très important de pratiquer un lambeau fermé pour obtenir un meilleur environnement parodontal et avoir le moins de différentiel possible avec les contours gingivaux. Dans la plupart des cas, le collage d'un bouton pour sa traction se fera dans la mesure du possible sur la face vestibulaire de la dent pour obtenir une bascule lors de sa traction. Enfin, il sera préférable de tracter la dent depuis un point le moins vestibulaire possible pour que son apparition se fasse dans la gencive attachée et non dans la muqueuse alvéolaire (Figs. 10 et 11).



Figure 8

Modification du contour gingival vestibulaire et palatin, et traction d'une dent retenue. 810 nm, CW, 1,6 W, fibre 300 μ , photobiomodulation (30'', 0,2 W, beam 0,785 cm²). Finalisation par gingivectomie esthétique 12.22.23. 808 nm, CW, 1,6 W, fibre 320 μ .



Figure 9

Acte au laser diode pour une dent enclavée. 810 nm CW, 2,5 W, fibre 300 μ , photobiomodulation (30'', 0,2 W, beam 0,785 mm²).



Figure 10

Frénectomie sans effraction de la muqueuse pour permettre l'évolution dentaire. 808 nm CW, 2 W, fibre 400 μ , photobiomodulation (30'', 0,2 W, 2 cm^2 , beam 0,765 cm^2).



Figure 11

Fenestration des incisives en retard d'évolution (traumatisme). 808 nm, CW, 1,6 W, fibre 400 μ , photobiomodulation (30'', 0,2 W, beam 0,785 cm^2).

3.2.4.2. Les canines

L'évaluation du degré de difficulté avec une radiographie panoramique comme elle est décrite par les sept points de Chang⁶⁵ est une bonne approche pour donner aux parents, à l'enfant et au praticien le pronostic de cette dent en première intention. L'évaluation du degré de difficulté avec un CBCT ne donne pas une approche probante pour l'instant ; cependant, cela donne des précisions très importantes sur les relations environnementales de la dent. Pour le praticien qui n'a pas une expérience suffisante, il lui sera difficile de donner un pronostic.

La grille d'évaluation de Chris Chang en sept points définit un score maximum de 22 points (valeur absolue donnant le maximum de difficulté

théorique) qui donnera un vrai sens au pronostic (Fig. 12).

- Angulation de la couronne par rapport à l'axe médian :

- De 0° à 15° : 1 point
- De 16° à 30° : 2 points
- Supérieure à 31° : 3 points

- Distance verticale par rapport au plan occlusal :

1. La pointe de la canine est en dessous de la jonction épithélio-conjonctive des dents adjacentes côté médial : 1 point
2. Au-dessus de la jonction épithélio-conjonctive mais moins de la moitié supérieure de la racine : 2 points

- 3. Plus de la moitié du chemin de la racine mais moins que la longueur de la totalité radiculaire : 3 points
- 4. La pointe de la cuspidé est au-dessus des racines des dents adjacentes : 4 points
- Position mésio-distale de la pointe de la canine²⁵ :
 - Grade 1 ne dépasse pas la limite distale : 1 point
 - Grade 2 dépasse la limite distale sans dépasser la moitié de la latérale : 2 points
 - Grade 3 dépasse la limite distale sans dépasser la limite mésiale : 3 points
 - Grade 4 dépasse la limite mésiale de la latérale : 4 points
- Position mésio-distale de l'apex de la racine de la canine :
 - Grade 1 dans la région de la canine : 1 point
 - Grade 2 apex au-dessus de la région de la 1° PM : 2 points
 - Grade 3 apex au-dessus de la région de la 2° PM : 3 points
- Résorption radiculaire des dents adjacentes :
 - Contour normal : 0 point
 - Irrégularité de l'apex même longueur qu'avant le traitement : 1 point
 - Résorption ≤ 2 mm : 2 points
 - Résorption ≥ 2 mm : 3 points
- Âge de la formation radiculaire de la canine
 - < 9 ans : 0 point
 - 9-11 ans : 1 point
 - 12-13 ans : 2 points
 - 13 ans : 3 points

- Position vestibulaire ou palatine

- Palatine : 1 point
- Vestibulaire : 2 points

3.2.4.2.1. Les canines maxillaires

La stratégie face aux canines incluses est d'abord de réaliser l'ouverture d'espace nécessaire pour son positionnement. Ensuite, il faut éviter la prise en charge de la dent adjacente. Même si le rôle du laser n'est que de réaliser des coupes comme avec une lame froide ou un bistouri électrique, les suites de cicatrisation et de douleur seront bien meilleures.

3.2.4.2.1.1. Les canines vestibulaires

De leur position dans l'espace (haute, moyenne ou basse) dépendra l'acte à réaliser. Kokich³⁷ a bien expliqué les notions parodontales consécutives à la traction orthodontique.

Nous déploierons trois gestes au laser diode :

- Pour les canines maxillaires vestibulaires hautes, nous préconiserons, comme la plupart des auteurs, un lambeau fermé à la nuance près que nous ferons avec une incision verticale unique pour minimiser l'afflux sanguin. Nous collerons un bouton au plus proche de la pointe cuspidienne pour pouvoir diriger la traction à l'aveugle (Fig. 13).
- Pour une position vestibulaire au-dessus des incisives latérales, nous pouvons accompagner la traction horizontale, dans un premier temps, par une traction sous muqueuse (VISTA)⁸ et un point d'ancrage par une vis zygomatique. Puis, dans un deuxième temps, nous réalisons une traction verticale dès que la canine a atteint une position au-dessus de son lieu d'éruption.

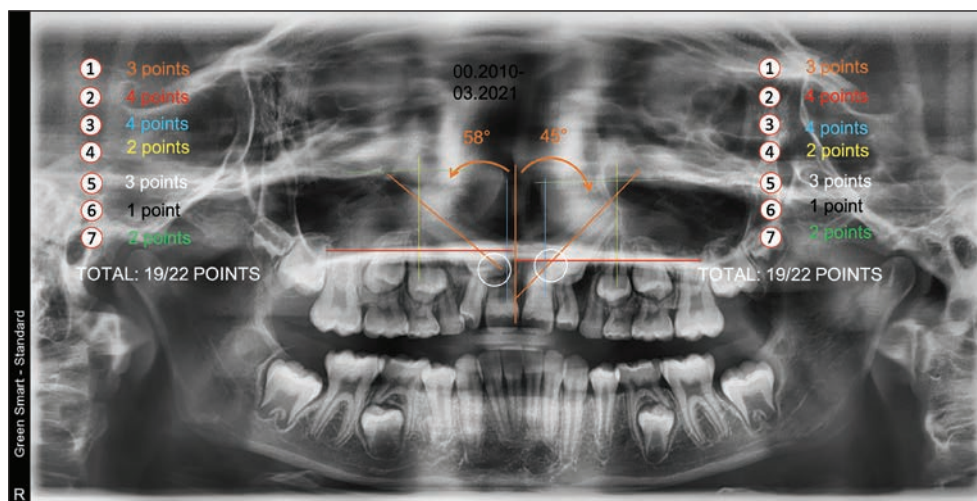


Figure 12

Les sept points d'évaluation de difficulté de Chang⁸ décrit par Vergara⁶⁵.



Figure 13

Canine maxillaire incluse haute, lambeau fermé. 810 nm, CW, 2 W, fibre 300 μ , photobiomodulation (30'', 0,3 W, beam Flat Top 1,02 cm²).

- Pour les canines maxillaires vestibulaires moyennes, nous ferons, comme la plupart des auteurs, un lambeau de repositionnement apical et le collage à vue d'un bouton ou d'une attache (Fig. 14).
- Pour les canines vestibulaires basses, nous aurons la possibilité de réaliser une fenestration dans la mesure où nous observons le maintien d'une bande cervicale de gencive attachée de 2 à 3 mm.

Dans ces conditions, le collage d'un bouton ou d'une attache permettra sa traction. La technique des aligneurs modifie non pas les accès mais les moyens de traction qui peuvent être complétés par des minivis d'ancrage (Fig. 15).

3.2.4.2.1.2. Les canines palatines

Même si la localisation est palatine et que l'âge nous permet d'intervenir tôt, nous avons la possibilité de réaliser une fenestration passive. C'est-à-dire que nous ne tracterons pas la dent dans un premier temps. Nous lui laisserons l'opportunité de par la fenestration à ciel ouvert d'évoluer toute seule et, dans un deuxième temps, nous réaliserons la traction.

Cette technique de fenestration passive doit se faire quand nous avons à la fois la certitude qu'elle est palatine (CBCT) et que l'âge dentaire n'est pas trop éloigné de son âge civil (Fig. 16).

Le choix de la fenestration au laser s'accompagne forcément de la mise en place d'un pansement chirurgical pour permettre l'épithélialisation des berges de la fenestration (Fig. 17).

Pour toutes les canines palatines, nous sommes confrontés à leur venue sur l'arcade avec un surplus de gencive. Une deuxième intervention au laser par modification du contour gingival sera nécessaire pour le collage de l'attache (Figs. 18 et 19).

Dans les cas de traction en technique par aligneurs, il sera nécessaire d'anticiper son évolution sur l'arcade lors des réévaluations.

3.2.4.2.2. Les canines mandibulaires

Les canines mandibulaires peuvent obliger, par leur différente position selon la classification de Mapparapu⁴⁴, des accès et des chirurgies différentes. Pour nous, seules les canines dans des positions axiales raisonnables seront du domaine du laser diode. Le protocole opératoire sera identique aux canines maxillaires : incision verticale et collage à la pointe de la cuspidé si possible. Dans des conditions où la canine est en retard d'évolution mais dans son axe d'évolution, une fenestration au laser et un collage peuvent nous permettre de poursuivre notre traitement (Fig. 20).

3.2.4.3. Les prémolaires

Les prémolaires maxillaires et mandibulaires incluses sont en général dans une position favorable pour une fenestration sur la crête et la traction sera facilitée par un collage sur la face occlusale. Dans les autres conditions, nous adoptons une démarche similaire à celle utilisée pour les canines (Fig. 21).

3.2.4.4. Les molaires

Nous ne devons pas négliger un diagnostic précis des molaires incluses ou retenues (ne pas confondre avec le défaut primaire d'éruption). Les principales positions favorables sont les bascules sous les faces distales des dents mésiales. Pour les molaires maxillaires, principalement les dents de 12 ans, le protocole sera une fenestration avec ou sans le collage en direct. Pour les molaires mandibulaires, la fenestration peut être accompagnée ou non de la pose de minivis sur la branche montante pour la désenclaver (Fig. 22).



Figure 14

Lambeau de repositionnement apical d'une canine incluse moyennement haute. 810 nm, CW, 2 W, fibre 300 μ , photobiomodulation (30'', 0,3 W, beam Flat Top 1,02 cm²).



Figure 15

Fenestration canine incluse basse. 810 nm, CW, 1,6 W, fibre 300 μ .

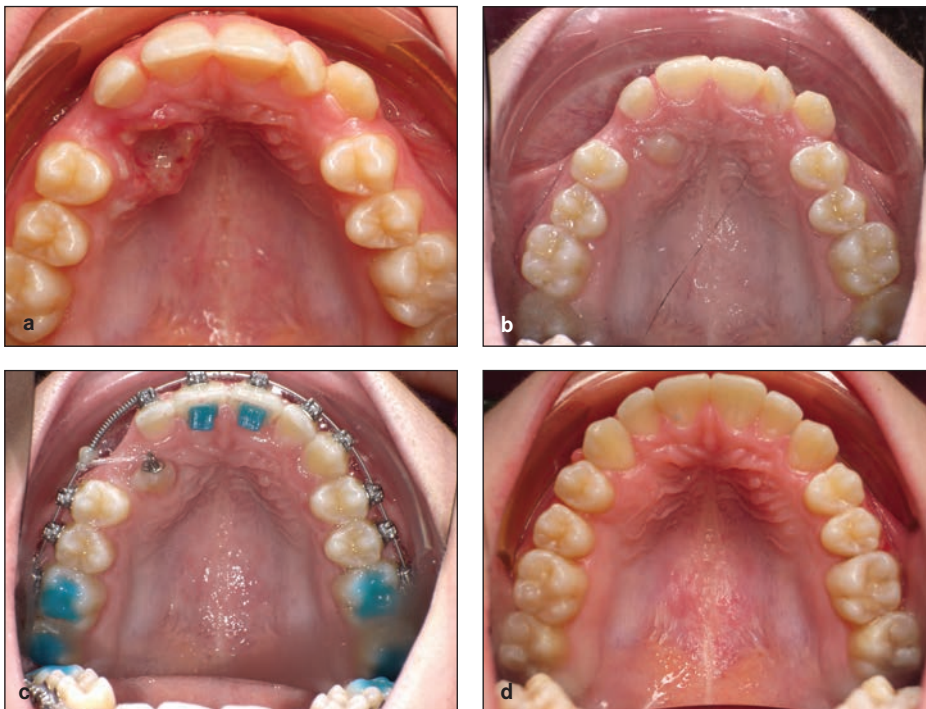


Figure 16

Fenestration passive d'une canine incluse palatine. 810 nm, CW, 3 W, fibre 300 μ , photobiomodulation (30'', 0,3 W, beam Flat Top 1,02 cm²).



Figure 17

Fenestration et collage d'une canine palatine (pansement chirurgical pour permettre l'épithélialisation des berges de la muqueuse palatine. 810 nm, CW, 3 W, fibre 300 μ , photobiomodulation (30'', 0,3 W, beam Flat Top 1,02 cm²).



Figure 18

Modification du contour gingival secondaire lors de la mise en place d'une dent incluse palatine. 810 nm, CW, 2 W, fibre 300 μ .



Figure 19

Modification du contour gingival secondaire lors de la mise en place d'une dent incluse palatine. 810 nm, CW, 1,6 W, fibre 300 μ .



Figure 20

Lambeau de repositionnement pour la mise en place d'une canine incluse mandibulaire. 810 nm, CW, 2 W, fibre 300 μ , photobiomodulation (30'', 0,3 W, beam Flat Top).

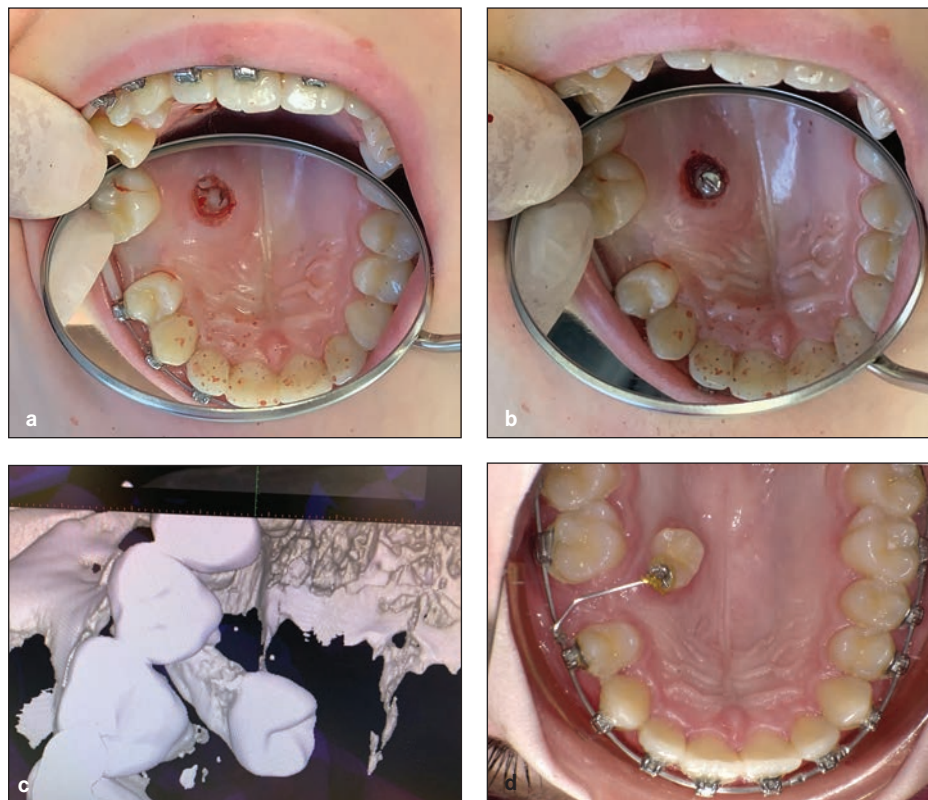


Figure 21

Fenestration et collage d'une prémolaire palatine. 810 nm, CW, 3 W, fibre 300 μ , photobiomodulation (30'', 0,3 W, beam Flat Top).

3.2.5. Les dents ankylosées

Selon l'Agence Française de Normalisation NF en 21942-1, une dent ankylosée peut être définie comme la fusion anatomique du cément et de l'os alvéolaire avec disparition de l'espace ligamentaire entraînant une véritable ostéo-intégration. La décision thérapeutique pour la prise en charge d'une dent diagnostiquée comme ankylosée est très difficile. Un grand nombre de facteurs étiologiques sont encore inconnus. Aussi, dès que nous nous apercevons, lors de la traction de la dent, que les dents adjacentes s'opposent au mouvement, il peut paraître intéressant de proposer dans un premier temps un traitement localisé de photobiomodulation. Ce traitement est non invasif et peut donner l'espoir de la mise en place de cette dent (Fig. 23).

3.3. Le parodonte

3.3.1. Le parodonte sain

Le laser diode va nous être d'une grande aide pour le parodonte sain ou malade. Les finitions orthodontiques dépassent aujourd'hui la notion d'alignement

dentaire que ce soit le nivellement, les torques ou les rapports antéro-postérieurs. Aujourd'hui, les notions « de White et de Pink » dans l'esthétique sont la source d'une approche raisonnée de nos finitions⁵⁰. Le laser nous permet ainsi de symétriser les bords gingivaux cervicaux. Les trois principales situations inesthétiques sont le sourire gingival, les inégalités de la gencive marginale et l'absence de papille. En ce qui concerne le sourire gingival, la cause peut en être une croissance verticale pour laquelle nous pouvons, parmi les solutions thérapeutiques, cumuler le traitement orthodontique et les effets des minivis mais aussi compléter notre intervention grâce au laser diode. Cela peut être dû au retard de maturation de la gencive marginale. Ici le laser diode pourra nous aider à retrouver des bords marginaux symétriques. Les malpositions dentaires peuvent être la troisième cause du sourire gingival, ceci est particulièrement vrai chez les patients ayant un recouvrement antérieur important. Le repositionnement des dents antérieures par ingression est favorable pour retrouver une harmonie esthétique du secteur antérieur. Ce n'est que le différentiel de

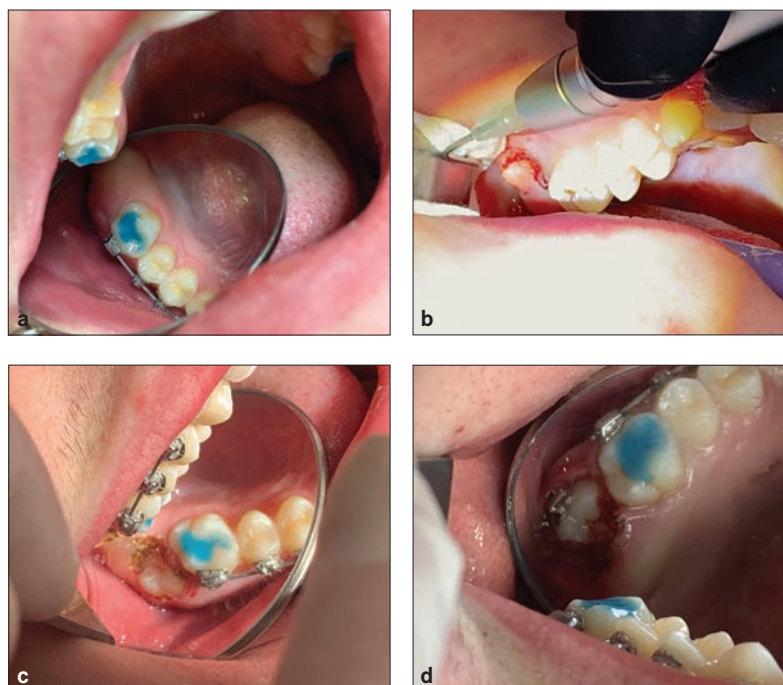


Figure 22

Fenestration de la dent de 12 ans en retard d'évolution et collage. 810 nm, CW, 3 W, fibre 300 μ , photobiomodulation (30'', 0,3 W, beam Flat Top).



Figure 23

Tentative et réussite de la photobiomodulation sur une dent ankylosée (808 nm, 20'', 0,1 W, V&P, beam 0,765 cm² avec routine des séances).

position initiale des dents homologues qui impliquera de modifier la gencive marginale à la fin du traitement. En effet, par exemple, une incisive latérale positionnée initialement en palatin aura un niveau gingival plus bas que son homologue en fin de traitement si le torque n'a pu s'exprimer totalement. Là encore, le laser diode aura toute sa place (Fig. 24).

Les inégalités de la gencive marginale pourront être relativement solutionnées par les modifications du contour gingival au laser diode (Fig. 25).

L'absence de papille ne concerne pas l'acte ablatif mais plutôt une action de modelage amélaire des faces convexes et la fermeture des espaces pour permettre un allongement de la papille.

Les conditions d'utilisation du laser diode pour les gingivectomies esthétiques sont la quantité et la hauteur de gencive attachée, le respect de l'espace biologique, mais aussi la visibilité de la gencive au sourire. Si nous ne voyons que les dents alors que les niveaux de gencive marginale sont asymétriques, nous nous abstenons de réaliser cet acte.

3.3.2. Le parodonte malade

Nous parlons uniquement des hyperplasies gingivales, conséquence d'un niveau d'hygiène bucco-dentaire faible pendant le traitement orthodontique ou en fin de traitement. Si les recommandations de prévention à l'hygiène bucco-dentaire restent vaines, des gingivectomies peuvent être



Figure 24

Modification du contour gingival 12 (initialement palatine). 810 nm, CW, 1,6 W, fibre 300 μ .



Figure 25

Remodelage esthétique des contours gingivaux. 810 nm, CW, 1,6 W, fibre 300 μ .

réalisées pendant le traitement. Par contre, si nous souhaitons améliorer l'esthétique du sourire après le débaguage, nous attendrons quelques semaines. S'il persiste des hyperplasies gingivales, la gingivectomie permet à la situation de se réguler. Un certain nombre de facteurs sont nécessaires à la compréhension de l'acte de gingivectomie. Réaliser une gingivectomie sans avoir réalisé une analyse de faisabilité au préalable n'est pas recommandé⁶¹ (Figs. 26 à 28).

3.3.3. Les pathologies

3.3.3.1. Les aphtes

Les aphtes peuvent avoir différentes étiologies. Ils peuvent être en relation avec la consommation de

divers aliments, par exemple les fruits secs comme les noix, les noisettes, les amandes mais aussi des fruits, plus particulièrement exotiques comme l'ananas, la banane, le kiwi ou bien les fromages à pâte dure comme l'emmental. Une prévention par l'abstinence de ces aliments peut pallier l'apparition des aphtes. Toutefois, des aphtes plus graves et plus récidivantes sont le signe de la maladie de Crohn ou de Behçet. Ces maladies sont auto-immunes et le stress ou des problèmes psychologiques peuvent les exacerber.

Il est possible de minimiser les douleurs et la durée d'apparition par des séances de photobiomodulation (PBM). L'utilisation de gel en complément des séances de laser n'apporte pas d'amélioration notable²¹.



Figure 26

Gingivectomie des tissus gingivaux hypertrophiés post-orthodontique. 810 nm, CW, 2,5 W, fibre 300 μ .



Figure 27

Gingivectomie des tissus gingivaux hypertrophiés pour permettre le collage de contention après un traitement lingual. 808 nm, CW, 2 W, fibre 400 μ .



Figure 28

Gingivectomie des tissus gingivaux hypertrophiés pendant le traitement orthodontique. 810 nm, CW, 2,5 W, fibre 300 μ .

Selon la taille et la gravité des lésions, on appliquera la formule :

Temps (en secondes) = énergie (Joule/cm²) x surface (cm²) : puissance (en watts)

La fluence proposée en action curative doit être de 4 Joules/cm² au niveau cellulaire.

L'application du faisceau laser non activé devra balayer la surface de la lésion en ayant soin de déborder des limites sans contact avec une puissance de 0,1 W pendant environ 20 secondes⁷⁰. De une à trois séances toutes les 48 h seront nécessaires en fonction de la gravité des lésions (Fig. 29).

3.3.3.2. L'herpès virus

L'herpès, maladie virale mal connue, peut induire des maladies auto-immunes pour lesquelles aucune guérison n'est possible. Toutefois, l'herpès le plus commun est l'herpès labial, mais il peut également apparaître sur une autre partie du visage comme les narines.

Si les vésicules herpétiques sont sorties, il est possible de pratiquer une séance curative de laser et l'on diminuera ainsi les douleurs et l'inflammation. Le mode opératoire est le même que pour les aphtes.

Un herpès peut être aussi lié à l'apparition des menstruations. Si la personne connaît bien son cycle, il sera possible de réaliser des séances de prévention deux à trois jours avant les règles, en lieu et place d'apparition habituelle des vésicules, mais aussi sur tout le pourtour des lèvres. Pour les séances préventives, la fluence sera de 1 Joule/cm² (Fig. 30).

3.3.3.3. L'épulis

L'épulis est une tumeur bénigne représentée par une excroissance sous la forme d'une boule charnue rouge foncé très vascularisée, saignant facilement au contact, à rebords bien nets et parfois partiellement ou totalement pédiculée (Fig. 31).

3.3.3.4. La diapneusie

La diapneusie est une tumeur bénigne, souvent réactionnelle à un réflexe de succion jugale au niveau d'un espace interdentaire ou bien en regard d'une extraction dentaire non compensée.

Nous prodiguerons des actions chirurgicales d'ablation avec une fibre activée et une puissance de 1,6 watts à 3 watts en continu, en fonction du tissu fibreux ou déjà cicatriciel et de la profondeur.

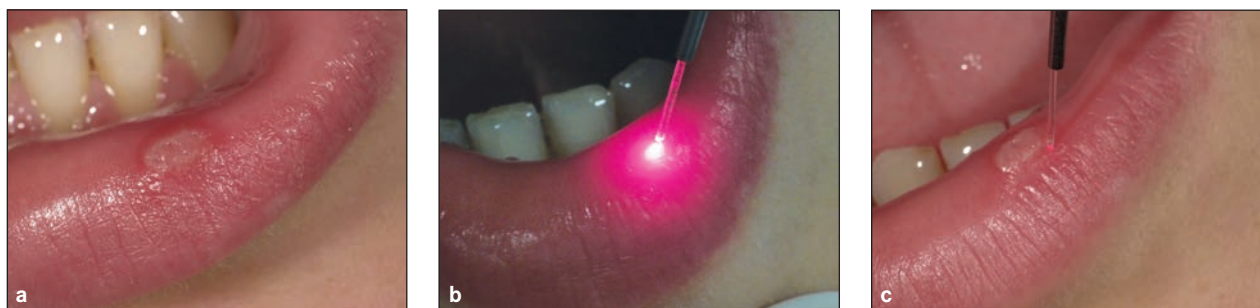


Figure 29

Traitement des aphtes au laser diode. 808 nm, CW, 20'', 0,1 W, fibre 300 μ NI sans contact.



Figure 30

Traitement de l'herpès. 808 nm, CW, 10'', 0,1 W, fibre 300 μ NI sans contact.

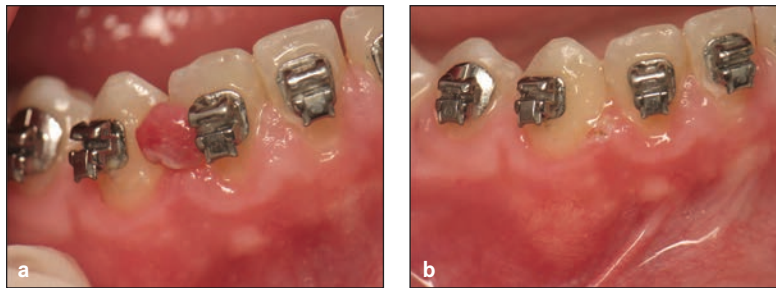


Figure 31
Excision de l'épulis. 810 nm, CW, 2 W, fibre 300 μ .

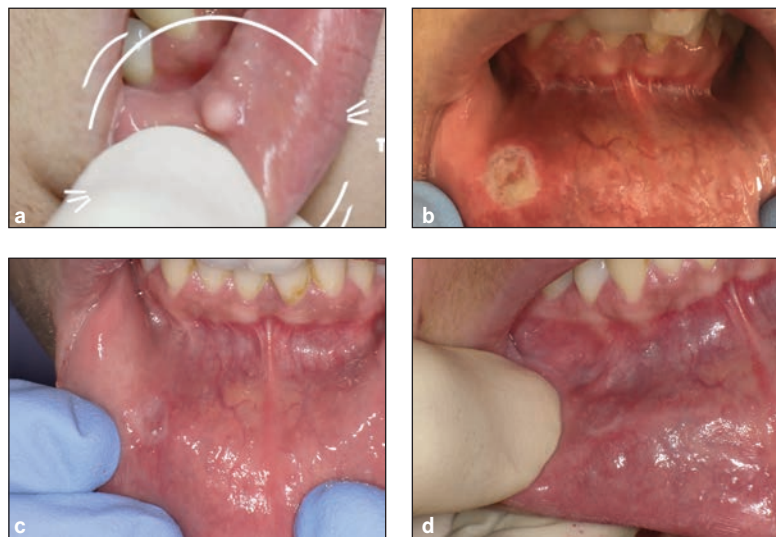


Figure 32
(a,b) Excision d'une diaphnosie (tumeur bénigne). 810 nm, CW, 2 W, fibre 300 μ . Évolution de la cicatrisation à 8 jours (c) et à 15 jours (d).

Les suites seront anodines et seule la prescription d'un bain de bouche sera nécessaire (Fig. 32).

3.3.3.5. Le kyste d'origine épithélial

D'autres pathologies de dermatologie buccale peuvent apparaître au cours de nos traitements orthodontiques. Si nous n'avons pas suffisamment de compétences dans ce domaine, il est préférable de référer de façon à ne pas faire d'erreur de traitement. Par exemple, même si, avec le laser, nous avons la possibilité d'une économie tissulaire, il paraît préférable de ne pas intervenir (Fig. 33).

3.3.4. Fracture dentaire, récursive des rotations : les fibrotomies

3.3.4.1. La fracture dentaire infra-osseuse : l'extrusion

Lors de fractures, de dents délabrées ou de caries sous-gingivales importantes, il peut être intéressant de retrouver un espace biologique.

Pour ce faire, nous allons réaliser une traction orthodontique et sectionner les fibres supra-

crestales pour extruder la dent de l'os. Ainsi, l'espace biologique retrouvé permettra de réaliser un artifice prothétique ou un soin conservateur dans les meilleures conditions biologiques.

Le protocole sera de glisser une fibre de 400 microns dans l'axe de la dent le long de la racine avec une puissance de 1 W en continu et de faire des tirs de laser par des impacts nombreux tout autour de la dent, sans rester au même endroit afin de ne pas élever la température. L'activation orthodontique et la fibrotomie seront renouvelées tous les dix jours jusqu'à ce que le niveau du bord lésé soit en position correcte supra-osseuse. De quatre à six séances seront nécessaires. Les études montrent qu'il n'existe aucun changement morphologique et biochimique du ciment consécutivement à l'utilisation du laser dans ces actions de fibrotomies³⁴ (Fig. 34).

3.3.4.2. La récursive des rotations

Les rotations dentaires réduites par le traitement orthodontique sont les mouvements les plus sujets à récursive. Les fibrotomies circonférentielles peuvent

prévenir la récurrence et améliorer la stabilité dentaire. L'acte de fibrotomie pour les rotations sera identique à la précédente mais réalisé en une fois le jour de la dépose des dispositifs médicaux ou lors de la séance qui la précède²⁸ (Fig. 35).

3.3.5. La dépigmentation

La pigmentation gingivale est la somme de cinq pigments dont la mélanine. La surproduction de la mélanine entraîne l'hyperpigmentation. Différentes classifications dont celle de Peeran³⁰ définissant la sélection 2 ou/et 5 sont sujettes à une intervention au laser. Le laser diode peut aider car c'est une des techniques les moins douloureuses grâce à la formation d'un caillot de protéine à la surface de la plaie qui sert de pansement biologique²⁴. La lumière laser est hautement absorbée par l'hémoglobine et d'autres pigments dont la mélanine, ce qui lui vaut d'être considéré comme le traitement de choix⁴⁰ (Fig. 36).

3.4. Particularités : les petits plus indispensables

3.4.1. Éviction de la gencive pour la prise d'empreinte en présence d'une dent peu évoluée

Lors du collage indirect, il peut paraître nécessaire de modifier le contour gingival par un léger remodelage de la zone cervicale gingivale. Il en est de même pour les empreintes numériques pour la réalisation des aligneurs. Une simple anesthésie topique permet de réaliser l'acte sans douleur (Fig. 37).

3.4.2. Remodelage de la gencive en deuxième intention pour le collage

Suite aux tractions des dents incluses et lors de leur venue sur l'arcade, elles peuvent présenter une hyperplasie de la gencive qui nous empêche de réaliser le collage dans de bonnes conditions. Aussi un petit geste de remodelage de la gencive est souvent nécessaire (Fig. 38).



Figure 33

Mise en garde. Excision d'un kyste épithélial sans effraction de la gencive marginale mais insuffisante pour l'ablation de la totalité des cellules kystiques entraînant la récurrence. 808 nm, CW, 1,6 W, fibre 400 µ.

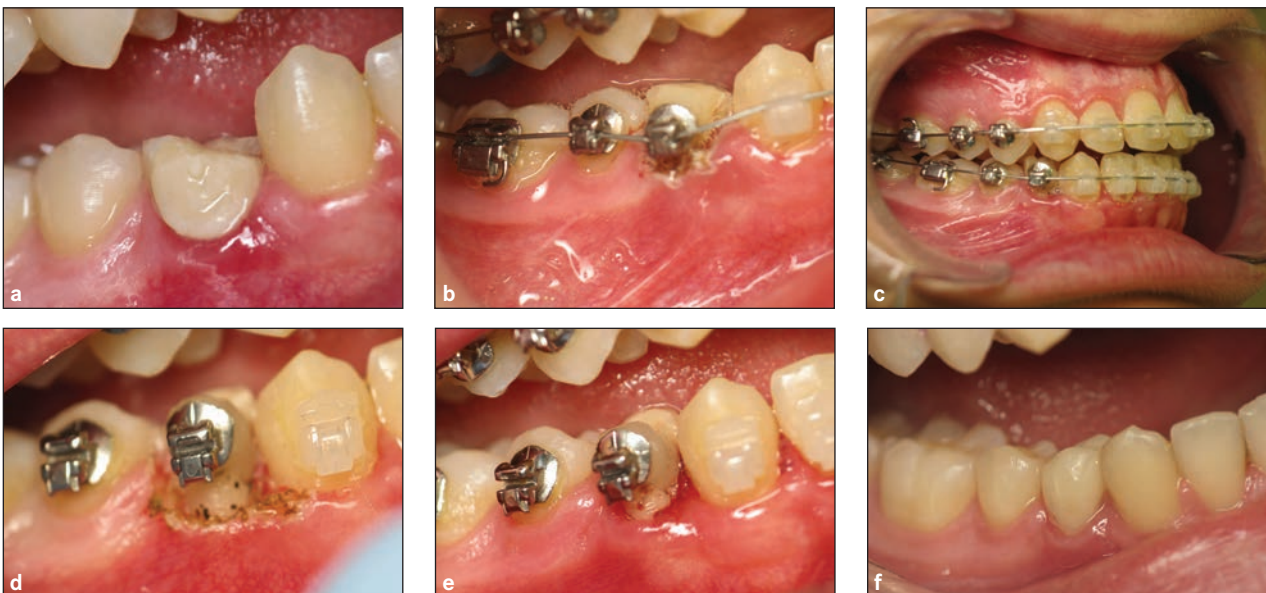


Figure 34

Fibrotomie avec routine de séances, pour l'extrusion de la 44 par suite d'une fracture infra-osseuse. 808 nm CW, 1 W, fibre 400 µ.



Figure 35

Fibrotomie pour stabiliser le traitement des rotations. 808 nm, CW, 1 W, fibre 200 μ .



Figure 36

Dépigmentation d'un tatouage mercuriel. 808 nm, CW, 1,6 W, fibre 400 μ .



Figure 37

Éviction de la gencive pour la prise d'empreinte.

3.4.3. Suppression de gencive inter-dentaire suite à une fermeture d'espace

Le fait même de fermer un espace d'extraction orthodontique entraîne un surplus de tissu interdentaire. Le fait même de supprimer cet excédent de gencive entraîne à la fois une réaction tissulaire rapide de fermeture et une meilleure hygiène bucco-dentaire (Fig. 39).

3.4.4. Hémostase

Bien que de principe le laser réalise à la fois la coupe du tissu et sa cautérisation, il peut advenir de sectionner une petite artériole ou veine qui saigne. Le laser peut être d'un bon secours pour réaliser l'hémostase et permettre la suite de l'acte chirurgical ou de réaliser le collage dans de bonnes conditions (Fig. 40).

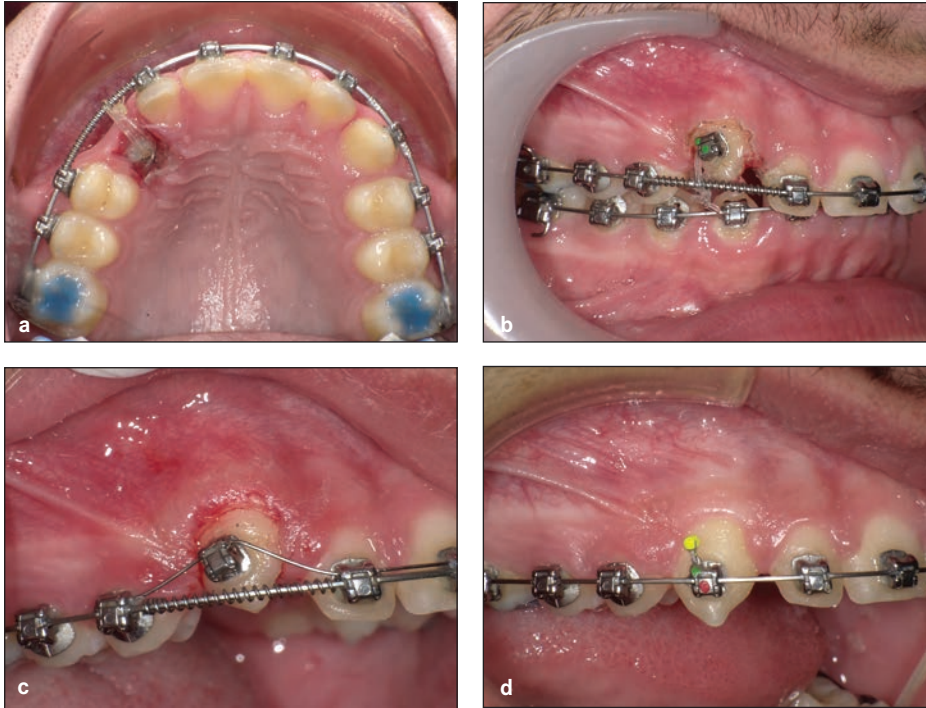


Figure 38

Remodelage secondaire de la gencive à la suite d'une traction de la canine incluse palatine. 808 nm, CW, 1,6 W, fibre 400 μ .



Figure 39

Excision de tissu interdentaire en excès lors de la fermeture des sites d'extraction. 808 nm, CW, 3 W, fibre 400 μ .



Figure 40

Hémostase complémentaire pour assurer la coagulation immédiate. 810 nm CW, 1 W, fibre 300 μ NI.

4. Effets de la photobiomodulation

La photobiomodulation est un terme récent, inscrit dans les mots-clés depuis 2015. Elle peut aussi être décrite sous le terme de *low level laser therapy* (LLLT), *cold laser therapy*, *biomodulation* ou *low intensity laser therapy*. La lumière laser a la capacité d'agir sur le vivant sans l'altérer. En effet, elle va permettre une multiplication et une différenciation cellulaire et, au niveau de la chaîne respiratoire, d'agir sur les mitochondries par l'intermédiaire de l'enzyme Cytochrome C oxydase (Fig. 41) qui va générer de la production de molécules d'énergie (ATP), mais également une action antalgique de par la modulation des échanges ioniques et une action anti-inflammatoire grâce aux cytokines pro-inflammatoires.

L'effet photobiologique de stimulation dépend de la longueur d'onde, de la dose et de l'intensité de la lumière³⁵.

La photobiomodulation implique l'utilisation de la lumière rouge visible (630 nm-780 nm) et de l'infrarouge (780 nm-1000 nm). Les longueurs d'onde dans le rouge auront des propriétés antalgiques, cicatrisantes et anti-inflammatoires. Les longueurs d'onde autour de 810 nm dans les infra-rouges seront plus propices à l'accélération des mouvements, la croissance osseuse, la stabilisation des ancrages osseux. Le principe de la photobiomodulation est d'utiliser une lumière monochromatique, défocalisée. Elle se fait sans contact, peut être ponctuelle en un point précis mais aussi en balayage par superposition des fluences. Les puissances utilisées

seront faibles, de 0,1 W à 0,5 W. Si on se réfère aux travaux d'Arndt Schulz, la dose devra se situer entre « pas assez d'énergie » auquel cas il n'y aura pas de réponse et « trop d'énergie » qui entraîne des effets inefficaces voire nuls. Dans notre activité orthodontique, nous avons décidé de la dose en fonction des objectifs, de la surface du spot en sachant que la fluence est égale à la puissance multipliée par le temps, divisée par la surface d'application (spot).

La fluence devra être comprise entre 3 et 10 J/cm² au niveau cellulaire, sachant que la barrière cutanée va absorber 80 % de la lumière. Il sera donc nécessaire d'augmenter la fluence dans les proportions inférieures à 50 J/cm². Le nombre de séances dépend des objectifs à atteindre, sachant que l'apport de lumière aura deux effets : un direct dû au changement photochimique au moment de l'exposition et un secondaire qui est la conséquence des réactions dans les heures voire les jours qui suivent l'exposition. De règle, la prise en charge du patient est une suite de séances à jours alternés pendant plusieurs semaines.

4.1. La douleur

La douleur lors des traitements orthodontiques est une réalité. Le concept du mouvement dentaire à des fins orthodontiques peut se diviser en quatre phases. Une première phase dans laquelle le mouvement dentaire initial débute dans son environnement osseux (24 heures à 2 jours). La deuxième phase correspond au mouvement dentaire qui se réduit/s'arrête ; le tissu nécrotique apparaît.

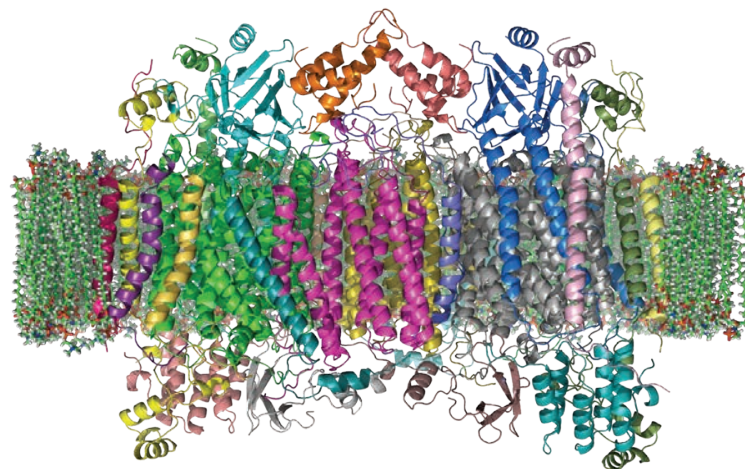


Figure 41
Enzyme cytochrome C oxydase.

Pendant la troisième phase, le mouvement dentaire va augmenter jusqu'à ce que le tissu nécrotique soit éliminé. Enfin, le mouvement dentaire est continu comme une constante linéaire : c'est la quatrième phase. Le but est de supprimer la douleur pendant les phases 1, 2, 3 et d'aller à la phase 4 et d'y rester¹³. Les traitements orthodontiques sont donc des pourvoyeurs de douleur qui agissent sur la qualité de vie des adolescents. De 70 à 95 % ont une expérience douloureuse³.

Ceci appelant aussi à une diminution de la coopération⁴.

La prise en charge de la douleur et de leur inconfort n'est pas suffisante pour faciliter la vie des adolescents, car bien d'autres facteurs comme les conflits familiaux, amoureux ou autres, viennent se cumuler⁵¹.

La perception de la douleur est influencée par différents facteurs cumulatifs ou non comme l'état, le stress, la génétique, le seuil individuel, l'état émotionnel, les différences culturelles et les expériences antérieures. La durée est principalement limitée aux 24 premières heures mais peut se poursuivre jusqu'à sept jours⁴².

Un certain nombre de moyens sont à notre disposition pour pallier la douleur lors de la mise en place de l'appareil orthodontique ou lors des phases d'activation. Parmi ceux-ci, on peut citer les conseils et les explications du déroulement, la pharmacologie, entre autres, et la photobiomodulation voire même la photobiomodulation sur le point d'acupuncture HE GU GI4, qui est particulièrement actif sur les dents, la face et la tête (Fig. 42) (contre-indication chez la femme enceinte)⁵⁵.

Parmi un certain nombre de publications concernant la photobiomodulation, Sousa⁵⁸, dans sa revue de littérature, laisse entendre l'efficacité de la photobiomodulation, d'autant que cette méthode est simple et non invasive. Il en est de même pour Dominguez dans son étude sur la douleur lors de la pose des arcs de finition¹⁵.

Les mécanismes d'action sont principalement en lien avec les mitochondries, qui ont comme fonction de produire de l'énergie (ATP) et de contrôler la vie et la mort cellulaire. Le récepteur est le cytochrome C oxydase³⁶. Le rôle du laser diode d'une longueur d'onde de 600 nm à 900 nm va avoir un effet inhibiteur sur la dépolarisation nerveuse (en particulier les fibres C), la réactivation d'enzymes ciblant les facteurs induisant la douleur, la production de molécules d'énergie (ATP), la réduction du taux de

prostaglandines. La pénétration du rayonnement laser, c'est-à-dire l'absorption, ne se fait que dans le rouge et l'infra-rouge de 670 nm à 900 nm avec un pic à 810 nm⁶³. Si nous comparons la pénétration des longueurs d'onde 660 nm, 808 nm et 940 nm, les longueurs d'onde de 690 nm à 850 nm sont les meilleures pour une pénétration profonde. La 808 nm est celle qui offre la meilleure pénétration, approximativement à 40 mm. D'autre part, 60 % de l'énergie est distribuée sur le premier millimètre de l'épaisseur du tissu pour une longueur d'onde de 660 nm⁶⁰.

Le dosage dépendra d'un certain nombre de facteurs qui, non maîtrisés, pourront amener à l'inhibition de l'effet désiré (courbe 3D d'Arndt Schulz)³² :

- La longueur d'onde. Elle indique les plages de longueur d'onde à spectre d'action de 812,5-846,0 nm pour la LLLT³⁵.
- La puissance. Les lasers diode de basse énergie utilisent principalement de 0,50-300 mW en continu³¹.
- L'irradiance, soit la puissance divisée par l'aire du spot sur le tissu. L'écart de l'irradiance⁷ est de 5 mW à 5 W/cm². Pour un effet antalgique, une irradiance haute de l'ordre de 300-1,730 mW/cm² en CW sur une durée de 30 s par point est nécessaire.
- L'énergie, soit la puissance multipliée par le temps.
- La fluence, soit la puissance multipliée par le temps, divisé par la surface d'application³².
- Le séquençage des séances. Pour une douleur aiguë, prévoir une à cinq séances, trois jours consécutifs puis deux à trois séances/semaine. Pour une douleur chronique, prévoir cinq à vingt séances, au rythme de deux à trois par semaines⁶.

Tous ces facteurs sont à prendre en compte pour assurer une action positive sur la douleur. La tenue de la pièce à main perpendiculairement au tissu irradié est d'une grande importance.

4.2. La cicatrisation, l'inflammation

Dès la fin de l'acte chirurgical, après l'hémostase, la plaie entame son processus cicatriciel. La matrice initiale de fibrine sert de voie d'accès aux cellules inflammatoires, macrophages et polynucléaires, qui préparent l'étape suivante. La phase suivante, dite inflammatoire, débute entre la 12^e et la 24^e heure. La vasodilatation permet d'augmenter la perméabilité capillaire. Les macrophages stimulent la prolifération des lymphocytes, des fibroblastes, des kératinocytes

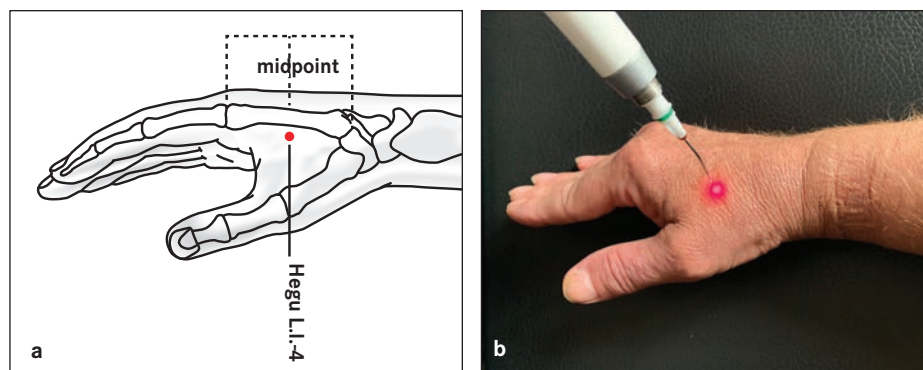


Figure 42

Complément de la photobiomodulation par le point d'acupuncture HE. GU G14 et laser diode 635 nm, CW, 0,1 W, 1', fibre 300 μ NI.

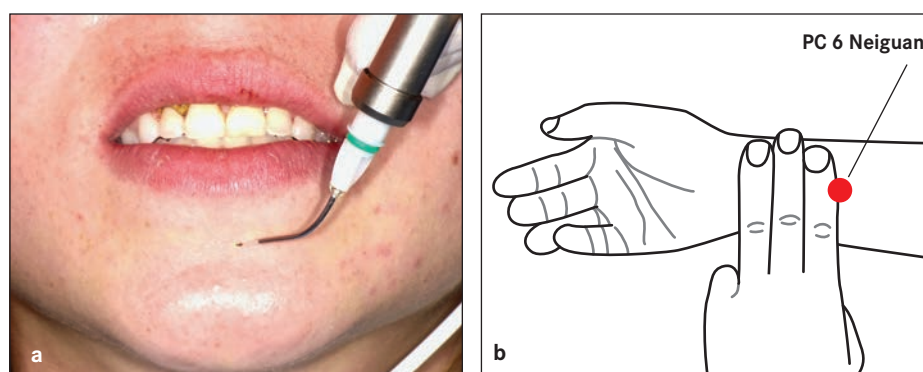


Figure 43

Points d'acupuncture pour minimiser le réflexe nauséux (a) CV-24 pour l'hypersalivation ou (b) Nei-Kuan PC 6 et laser diode. 635 nm, CW, 0,1 W, 1', fibre 300 μ NI à droite puis à gauche.

et des cellules endothéliales. Puis interviendra la phase de bourgeonnement.

Mais c'est principalement pendant la phase dite inflammatoire que la LLLT va jouer son rôle. Elle va stimuler la prolifération de fibroblastes qui pourront se différencier. À des doses de 2 J/cm², nous pouvons observer les mêmes réponses in vitro ou in vivo, quelles que soient les longueurs d'ondes communes à la LLLT. Les différents mécanismes sont principalement la prolifération du « Beta Fibroblast Growth Factor ».

Des résultats d'études ne démontrent pas avec certitude l'effet bénéfique de la LLLT sur la cicatrisation externe ; par contre, des résultats positifs sont rapportés dans des études sur la cicatrisation intra-orale avec aussi des effets sur les gingivites, les abcès dentaires. La LLLT va, à des doses faibles (2 J/cm²), stimuler la prolifération des fibroblastes en myofibroblastes qui sont responsables de la cicatrisation⁶⁵, mais ces études manquent de contrôle

scientifique. D'un autre côté, nous obtenons de très bons résultats sur les mucites consécutives à la radiothérapie et à la chimiothérapie.

4.3. Le réflexe nauséux

Le laser diode peut aussi nous aider dans le quotidien avec des patients qui peuvent présenter un réflexe nauséux lors de prise d'empreinte ou de pose de champ opératoire^{23,54}. Les points d'acupuncture CV 24 et PC 6 peuvent pallier ces difficultés (Fig. 43).

4.4. L'accélération et la croissance cellulaire

4.4.1. L'os

Les effets de la LLLT sur la croissance osseuse post-distractionnelle de la suture palatine sont encore mal connus. Des études récentes, que ce soit comme par exemple celle in vivo de Mayer, *et al.*⁴⁷ sur l'analyse histologique de l'effet de la thérapie

basse fréquence sur les distractions ostéogéniques qui montre des résultats encourageant sur les effets bénéfiques de la LLLT ou bien celle d'Angelletti, *et al.*² qui démontre l'effet positif du laser diode sur la régénération osseuse après une expansion maxillaire rapide assistée chirurgicalement (SARME), laissent à penser que les perspectives du laser sont très prometteuses pour assurer la stabilité des traitements orthodontico-chirurgicaux (Fig. 44).



Figure 44

Photobiomodulation pré- et per-disjonction. 810 nm, CW, 0,1 W, 20", beam Flat Top avec routine de séances.

4.4.2. Les dents⁵²

4.4.2.1. L'accélération des mouvements dentaires¹⁶

On décrit deux théories entraînant le mouvement dentaire : la théorie piézoélectrique⁴¹ et la théorie pression-tension. Il est aussi reconnu que la vitesse de mouvement orthodontique est variable d'un individu à l'autre. L'expérience clinique et les preuves scientifiques démontrent une moyenne de déplacement de 1 mm par mois.

L'effet de la régénération osseuse par la biostimulation par laser a été montré par Saito⁵⁴ lors de la disjonction palatine, mais aussi après fractures osseuses ou extraction par Trelles⁶² et Tadeka⁵⁹.

Aihara, *et al.*¹ révèlent que le système OPG/RANKL/RANK (*osteo-protegerin/receptor activator of NF-kappaB ligand/receptor activator of NF-kappa B*) est un facteur très important de la régulation de la résorption osseuse du parodonte. L'augmentation du ratio de mouvement orthodontique induit par l'irradiation au laser peut être liée à l'expression de OPG/RANK dans les ostéoblastes au niveau du ligament parodontal¹⁷.

Les premières publications sur l'effet d'accélération des mouvements orthodontiques par la LLLT ont été conduites par Cruz, *et al.*¹¹. La démonstration s'est faite sur 11 patients pour lesquels une rétraction canine bilatérale a été induite par des forces de 150 g, l'une en tant que contrôle, l'autre avec une irradiation de biostimulation. Les auteurs trouvent une accélération des déplacements de 34 % par rapport au groupe contrôle. Une autre étude de Limpanichkul, *et al.*⁴³ utilise des paramètres différents et conclut que les résultats ne sont pas significatifs car la dose est trop faible (5 J/cm²). Youssef⁷¹, quant à lui, démontre une augmentation de la vitesse de mouvement orthodontique lors de la rétraction canine. Sousa, *et al.*⁵⁸ évaluent l'effet de la LLLT sur la vitesse de rétraction de 26 canines avec des ressorts en NiTi (150 g) dont 13 ont été irradiées versus 13 canines contrôle. Ils concluent à une réduction du temps de traitement. Ces quatre études font partie du niveau 3b de la classification décrite par la *Oxford University : Evidence-Based Classification System*. En France, une revue de la littérature sur les accélérations de mouvements orthodontiques a été réalisée par Marquez-Diaz⁴⁵ dont l'objectif était d'initier un protocole d'étude clinique randomisée sur l'effet du laser diode. Elle a été faite selon les recommandations de la Haute Autorité de Santé et s'étend de 2004 à 2013, à la fois sur des études *in vivo* et *in vitro* (animaux et humains). La disparité des études est telle que le niveau de preuve reste insuffisant pour tirer des conclusions scientifiques quant à l'impact de la LLLT sur l'accélération des traitements orthodontiques. Dominguez, *et al.*¹⁷, en 2010, concluent, dans leur étude concernant le nivellement et l'alignement d'arcades de patients présentant un encombrement évalué à 5 mm, à une diminution de temps de traitement de 30 % du groupe traité par la LLLT. D'autres études sont à inclure depuis, telles celles de Marquina⁴⁶, de Chung⁹, de Caccianiga⁵, de Dominguez¹⁸, qui rapportent, elles aussi, des preuves statistiques d'accélération des mouvements orthodontiques. Selon le protocole de 100 mW

2,2 J avec des longueurs d'onde de 830 nm, d'une application vestibulaire et palatine sur un temps de 22 s par surface, l'angiogenèse est déclenché par la PBM durant le traitement orthodontique au niveau de la pulpe¹⁴.

4.4.2.2. Chirurgie première/œdème

Le principe de « surgery first » (chirurgie en première intention) peut apporter une aide dans la chronologie du traitement. En effet, lorsque la congruence des arcades peut se réaliser en pratiquant la chirurgie en premier lieu, les mouvements orthodontiques pourront se réaliser plus facilement d'autant que nous avons à notre disposition la photobiomodulation. Le principe de pouvoir jouer sur les différentes longueurs d'ondes de notre laser diode permettra de minimiser rapidement l'œdème, minimiser les douleurs post-opératoires et accélérer les mouvements orthodontiques^{19,20} (Fig. 45).

4.5. La dysfonction musculo-articulaire

En 2014, un regroupement d'experts a publié une mise à jour des critères qui servent actuellement de référence dans la littérature : les *Diagnostic Criteria/Temporo-Mandibular Disorders* (DC/TMD)⁵⁶.

Cette classification permet de poser un diagnostic sur les différentes pathologies ou dysfonctions. Les données publiées concernant la photobiomodulation ne concluent pas à un effet probant quant à la douleur et à l'amplitude des mouvements. Le seul fait que le diagnostic ne soit pas clairement explicité dans les publications et que le dosage de la photobiomodulation ne soit pas exprimé de manière identique entraîne une réponse insuffisante du laser. Les méta-analyses concluent quand même à l'intérêt

de soumettre les patients à cette thérapie car elle n'est pas invasive, peut participer à l'effet placebo et améliorer la santé si la bonne dose est appliquée à la bonne pathologie⁶⁸ (Fig. 46).

4.6. La paresthésie

L'extraction des dents de sagesse incluses, la chirurgie maxillo-faciale peuvent induire des pertes de sensibilité temporaire ou définitive. Les possibilités de réduire voire d'annuler les paresthésies par le biais de la photobiomodulation existent dans la mesure où la longueur d'onde est adéquate. La photobiomodulation doit appliquer un protocole strict pour la réussite du traitement. Selon Velasquez⁵³, le protocole est le suivant :

Longueur d'onde 810 nm, dosage 200 mW, 60'', quatre séances par semaine à jour passé, pendant quatre semaines. La réussite de ce protocole est à plus de 90 % s'il est institué dans les six mois qui suivent l'intervention chirurgicale et plus que 70 % si c'est au-delà⁵² (Fig. 47).

4.7. Les désensibilisations des collets

Notre activité se tourne de plus en plus vers les adultes et principalement une tranche d'âge pour lesquels les soins parodontaux ont engendré des sensibilités dentinaires des collets. Nous pourrions donc aider ces patients à obtenir un meilleur bien-être en mettant en œuvre des désensibilisations. Les études montrent selon un protocole défini l'innocuité du laser avec des résultats probants de désensibilisation²⁷.

Différentes méthodes sont à notre disposition :

- Noircir les collets sensibles et illuminer avec une fibre de 400 microns non activée la surface des

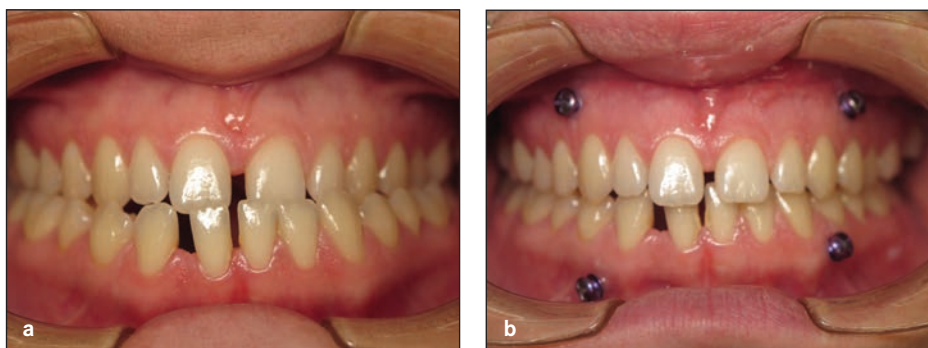


Figure 45

Photobiomodulation pré- et per-chirurgie orthognathique pour maîtriser la douleur et l'œdème. 635 nm, CW, 0,3 W, V & P, 20'', beam Flat Top avec routine de séances.

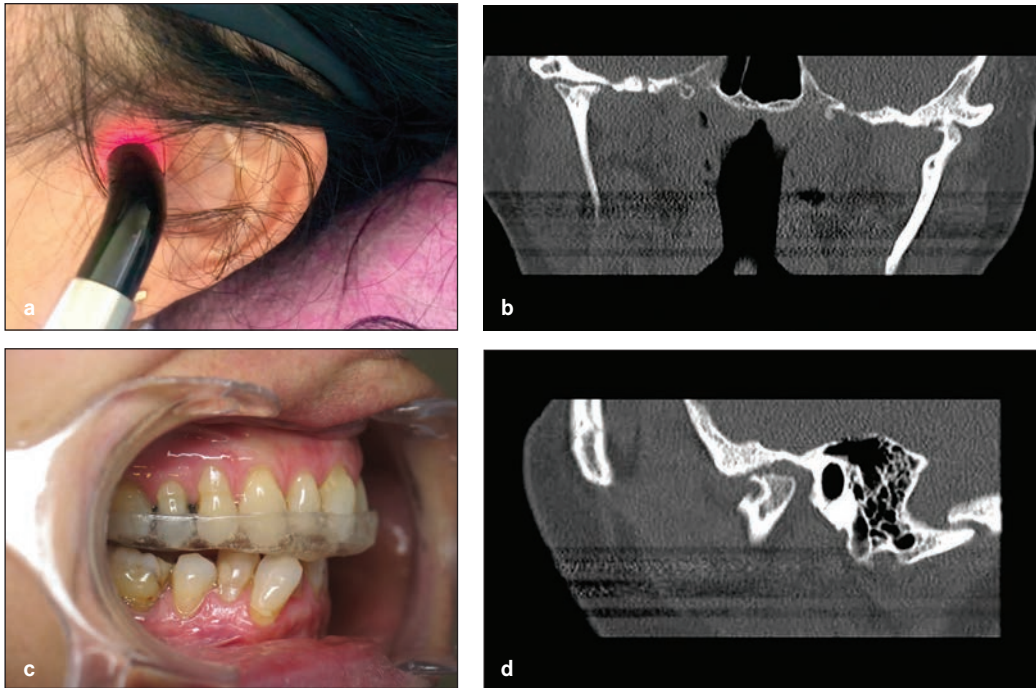


Figure 46

Photobiomodulation pour minimiser la douleur en complément de gouttière 635 nm, CW, 0,1 W, 20'', beam 0,785 cm² avec routine de séances.

racines dénudées avec une puissance de 1 W en continu par un balayage de 30 secondes par dent.

- Surfacier au pinceau du fluor en vernis puis balayer les collets sensibles avec une fibre non activée avec une puissance de 2 W pendant 20 secondes par dent (Fig. 48).

5. Les perspectives

5.1. Le fluor et les leucomes précaries

Parmi les risques des traitements orthodontiques en technique multi-attache, la déminéralisation autour des attaches par manque d'hygiène bucco-dentaire est un fléau que redoute l'orthodontiste. Malgré les conseils d'hygiène, la prescription de dentifrice fluoré hautement dosé, le nettoyage fréquent de la plaque dentaire avec un « prophyl jet », ces lésions peuvent apparaître. Le laser diode pourra booster l'apport de laque fluorée pour une meilleure pénétration et l'échange des ions fluor. La conclusion d'une étude sur l'absorption du fluor est favorable au diode, fibre non initiée en CW, 20 s + 2 W⁶⁶ (Fig. 49).

5.2. Le décollement des attaches céramiques

Les attaches en céramique commercialisées à ce jour sont constituées de deux oxydes métalliques :

- L'oxyde de zirconium (ZrO_2), partiellement stabilisé avec de l'yttrium ou du zirconium.
- L'oxyde d'alumine (Al_2O_3), qui est certainement le plus utilisé pour la fabrication des attaches.

Cet oxyde d'alumine peut se décliner en deux grands types de structures : le monocristal d'oxyde d'alumine et le polycristal d'oxyde d'alumine, qui diffèrent par leurs modes de fabrication et leurs propriétés⁶⁴.

Les risques lors du décollement des attaches en céramique sont principalement des arrachements de prismes d'émail à la surface de la dent lors du retrait à la pince ou la fracture de l'attache en céramique qui laisse des morceaux de céramique sur la dent. Le retrait à la fraise diamantée des éléments céramiques collés peut aussi être un risque, en cas de meulage intempestif. Il peut être alors intéressant de soumettre les attaches céramiques à la lumière laser que ce soit celle de l'Erbium-Yag²⁶ ou du laser diode⁶⁹. Pour ce faire, nous orienterons le faisceau lumineux tangentiellement dans l'interface. Ceci entraîne un



Figure 47

Photobiomodulation pour la perte de sensibilité consécutive à la chirurgie orthognathique. 810 nm, CW, 0,3 W, 30'', beam Flat Top avec routine de séances.



Figure 48

Désensibilisation des collets par le « boost » du fluor au laser diode 980 nm, CW, 2 W, 20'', fibre 300 μ NI.

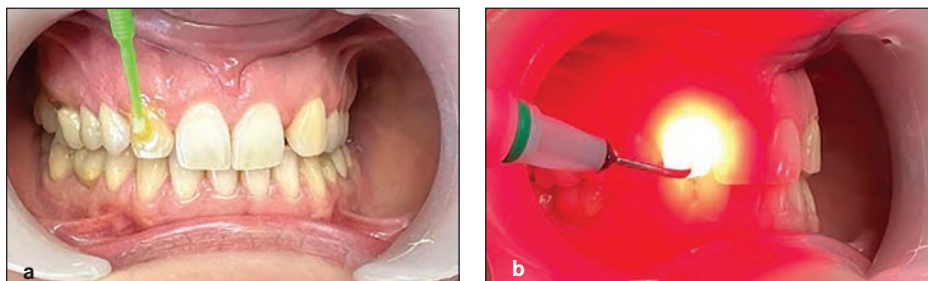


Figure 49

Fluoruration et laser diode 980 nm, CW, 2 W, 20'', fibre 300 μ NI.

affaiblissement de la colle qui permet de décoller plus facilement l'attache à la pince sans risque (Fig. 50).

5.3. La récurrence et la contention orthodontique

Les perspectives d'utilisation de la photobiomodulation pour limiter les récurrences des traitements orthodontiques pendant la phase de contention le sont certainement à proche échéance. Sonesson⁵⁷ déjà en 2016 cite cette possibilité de l'utilisation de la photobiomodulation. D'autres auteurs comme Zahra⁷², par le biais d'études in vivo sur la stabilisation des mouvements, donnent des encouragements à poursuivre dans cette voie encore très peu explorée.

Ne faudrait-il pas prendre le contre-pied par la loi de la courbe d'Arndt Schulz (Fig. 51) en investiguant les effets de la photobiomodulation avec

des doses de fluence au-delà de 50 Joules qui pourraient provoquer l'inhibition des tissus afin de fixer les dents ?

5.4. Les ancrages osseux

Les ancrages osseux peuvent être soumis à une stabilité primaire, conséquence d'une stabilité mécanique, et à une stabilité secondaire, conséquence d'une stabilité biologique. L'épaisseur et la qualité de l'os hôte, la géométrie de l'implant, son design, son diamètre, la longueur de l'implant à minivis (MSI) et la technique chirurgicale régissent la stabilité primaire. Des facteurs d'hygiène buccale et de mécanique orthodontique peuvent contribuer à la perte de la stabilité secondaire des MSI¹². Le laser diode pourrait avoir deux fonctions. Tout d'abord, en faisant un point d'impact comme on le ferait

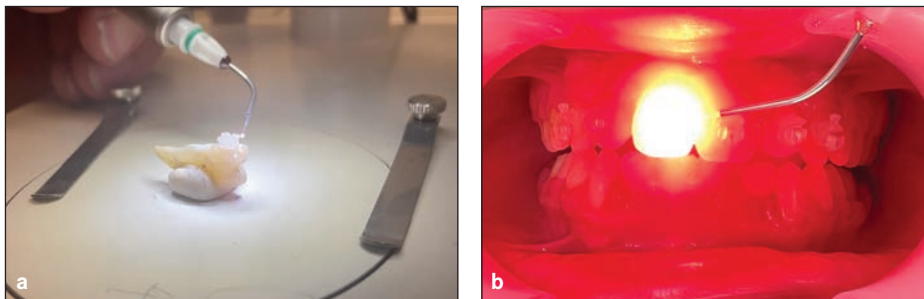


Figure 50

a) Expérimentation pour le décollage des attaches céramiques combi, CW, 1 W, fibre 300 μ , NI mésial-distal 10". (b) Décollage des attaches céramiques à la fibre laser diode CW 1 W 10" mésial/distal.

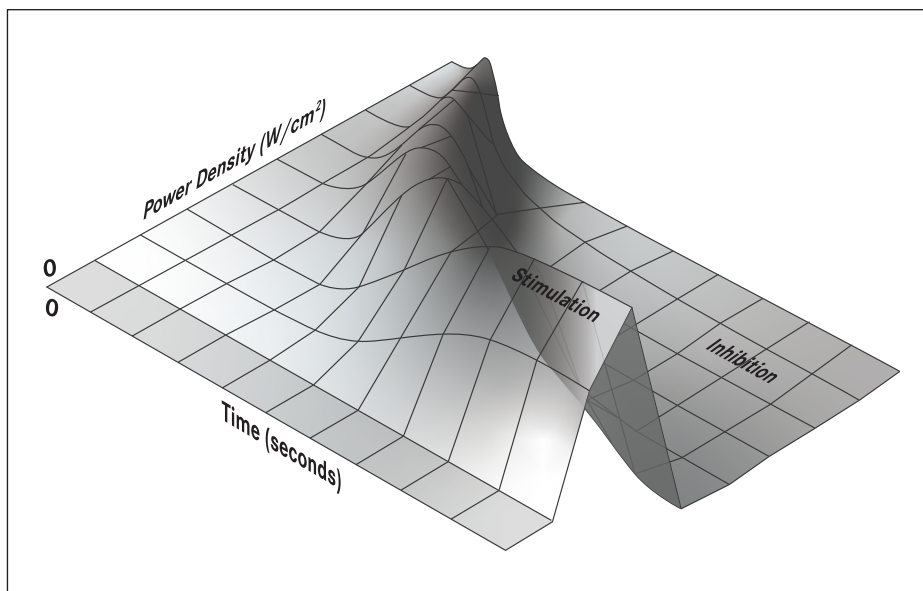


Figure 51

Courbe 3D d'Arndt Schulz.

avec une sonde pour noter le point d'entrée. Ceci aura pour but d'éviter que la muqueuse ne s'enroule autour de la vis et d'obtenir une zone désinfectée. Ensuite, après le vissage, une amélioration de la stabilité primaire sera obtenue par une séance de photobiomodulation autour de la vis d'ancrage. Cette préconisation est décrite par Goymen, *et al.*²⁹, ainsi que par Ekizer, *et al.*²² comme une aide à

l'amélioration de la zone de contact vis/tissu osseux et à la stabilisation de l'ancrage (Figs. 52 et 53).

6. Conclusion

Si les applications ablatives ou de photobiomodulation sont nombreuses, avec des résultats probants pour le laser diode dans son utilisation en

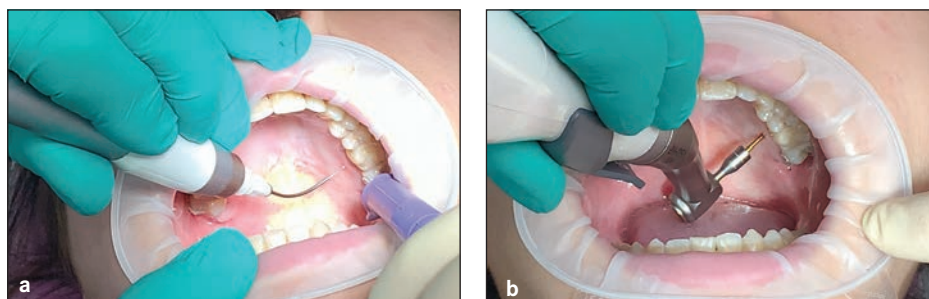


Figure 52

Point d'impact au laser diode avant la pose de la minivis. 810 nm, CW, 1 W, fibre 300 μ .



Figure 53

Stabilisation des minivis par photobiomodulation. 810 nm, 0,3 W, 30", beam faisceau gaussien.

orthodontie, il reste encore de nombreuses perspectives en cours de recherche pour une évolution de notre activité, comme par exemple les études sur la récurrence des traitements orthodontiques. Les actes ablatifs sont bien codifiés. La décision thérapeutique sera réservée pour la dermatologie buccale. Mais les bénéfices/risques relatifs à la sécurité de la photobiomodulation ne sont pas à négliger, même si les preuves ne sont pas probantes. Elle peut en effet apporter un succès sans risque, comme par exemple dans les cas d'ankylose dentaire. D'autres lasers comme l'Erbium-Yag, dans son utilisation plus invasive pour les corticocisions, sont de nouvelles données pour l'accélération des traitements orthodontiques.

Lexique :

Fibre NI : fibre non initiée, non activée.

CW (Continuous Wave) : mode / lumière continue.

Beam : faisceau de lumière des fibres ou pièce à main de photobiomodulation.

Beam fibre 300 μ : aire 0,000706 cm^2 .

Beam embout biostimulation Kaelux : aire 0,785 cm^2 .

Beam pièce à main Flat Top : aire 1,02 cm^2 .

Liens d'intérêts

L'auteur déclare n'avoir aucun lien d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.

Références

- Aihara N, Yamaguchi M, Kasai K. Low-energy irradiation stimulates formation of osteoclast-like cells via RANK expression in vitro. *Lasers Med Sci* 2006;21:24-33.
- Angelletti P, *et al.* Effect of low-level laser therapy (GaAlAs) on bone regeneration in midpalatal anterior suture after surgically assisted rapid maxillary expansion. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;109:e38-e46.
- Barnerjee S, *et al.* Effect of orthodontic pain on quality of life of patients undergoing orthodontic treatment. *Indian J Dent Res* 2018;29(1):4-9.
- Batool M, *et al.* Effect of orthodontic pain on QOL of patients undergoing orthodontic treatment in Pakistan. *IAJPS* 2018;05(04):2462-2466.
- Caccianiga G, *et al.* Does Low-Level Laser Therapy Enhance the Efficiency of Orthodontic Dental Alignment? Results from a Randomized Pilot Study. *Photomed Laser Surg* 2017;35(8):421-426.
- Carroll JD. *Low Level Laser Therapy Training*. THOR 09-2016 London.
- Carroll JD. Introduction to Low-Level Laser / Light Therapy (LLLT) for dentists. *J Laser Dent* 2013;21(1):10-20.
- Chang CH. Management of an impacted maxillary canine with vertical incision subperiosteal tunnel technic. *J Digital Orthod* 2018;50:52-71.
- Chung H, Dai T, Sharma SK, Huang YY, Carroll JD, Hamblin MR. The nuts and bolts of low level laser (light) therapy. *Ann Biomed Eng* 2012;40:516-533.
- Convissar R. Guest Editor. *Seminars in Orthodontics* 2020;26(2):73.
- Cruz D, Kohara E, Ribeiro MS, Wetter NU. Effect of low intensity laser therapy on the orthodontic movement velocity of human teeth: A preliminary study. *Lasers Surg Med* 2004;35:117-120.
- de Freitas, *et al.* Microbial colonization in orthodontic mini implants. *Braz Dent J* 2012;23(4):422-427.
- Di Domenico M, *et al.* Cytokines and VEGF Induction in Orthodontic Movement in Animal Models. *BioMed Research International* 2012(5): Doi: 10.1155/2012/201689.
- Dominguez A, Velásquez SA. Acceleration of Dental Movement by Photobiomodulation: How Does It Happen? *Photobiomodul Photomed Laser Surg* 2021;39(6):379-380.
- Dominguez A, Velásquez SA. Effect of low-level laser therapy on pain following activation of orthodontic final archwires: a randomized control clinical trial. *Photomed Laser Surg* 2013;31:36-40.
- Dominguez A, Velásquez SA. Acceleration effect of orthodontic movement by application of low intensity laser. *J Oral Laser Applications* 2010;10:99-105.
- Dominguez A, Velásquez S. An in vitro study of the reaction human osteoblasts to low level laser irradiation. *J Oral Laser Applications* 2009;9(1):21-28.
- Dominguez A, Gómez C, Palma JC. Effects of low-level laser therapy on orthodontics: rate of tooth movement, pain, and release of RANKL and OPG in GCF. *Lasers Med Sci* 2015;30(6):915-923.
- Dominguez Camacho A, *et al.* Photobiomodulation as oedema adjuvant in post-orthognathic surgery patients: A randomized clinical trial. *Int Orthodontics* 2020;18(1):69-78.
- Dominguez Camacho A, Velásquez Cujar SV. The use of four different lasers in a "surgery first" case, for orthodontic movement acceleration, paresthesia, aphthous ulcer, edema, and pain control. *Lasers in Dental Science* 2019;3(1):61-70.
- Dominguez Á, Velásquez SA. Topical Gel Application and Low Level Laser Therapy on Related Soft Tissue Traumatic Aphthous Ulcers: A Randomized Clinical Trial. *J Laser Opt Photonics* 2015;2(2):119.
- Ekizer A, *et al.* Light emitting diode mediated photobiomodulation therapy improves orthodontic tooth movement and miniscrew stability: A randomized controlled clinical trial. *Lasers Surg Med* 2016;48(10):936-943.
- Elbay M, *et al.* The use of low-level laser therapy for controlling the gag reflex in children during intraoral radiography. *Lasers Med Sci* 2016;31:355-361.
- El Shenawy H, *et al.* Treatment of gingival hyperpigmentation by diode laser for esthetical purposes. *Maced J Med Sci* 2015;3(3):447-454.
- Ericson S, KuroLJ. Radiographic assessment of maxillary canine eruption. *Eur J Orthod* 1986;8(3):133-140.

26. Fornaini C. Use of laser in orthodontics: applications and perspectives. *Laser Ther* 2013;22(2):115-124.
27. Gerschman JA, Ruben J, Gebart-Eaglemon J. Low level laser therapy for dental tooth hypersensitivity. *Australian Dent J* 1994;39:353-359.
28. Gokhale SA, Byakod G, Gupta G, Muglikar S, Gupta S. Effects of laser-aided circumferential supracrestal fibero-tomy on relapse of orthodontically treated teeth: A pilot study. *J Dent Lasers* 2015;9:16-22.
29. Goymen M, *et al.* Histomorphometric Evaluation of the Effects of Various Diode Lasers and Force Levels on Orthodontic Mini Screw Stability. *Photomed Laser Surg* 2015;33(1):29-34.
30. Gulati N, *et al.* Gingival pigmentation revisited. *J Adv Med Scie Res* 2016 4(1):48-57.
31. Huang YY. Biphasic dose reponse in low level laser therapy: an update. *Dose Reponse* 2011;9:602-618.
32. Huang Y-Y, Chen AC-H, Carroll JD, Hamblin MR. Biphasic dose response in low level light therapy. *Dose Response* 2009;7(4):358-383.
33. Jenkins P, Carroll JD. How to Report Low-Level Laser Therapy (LLLT)/Photomedicine Dose and Beam Parameters in Clinical and Laboratory Studies. *Photomed Laser Surg* 2011;29(12):785-787.
34. Ji-Won-Lee, *et al.* Effects of laser-aided circumferential supracrestal fibero-tomy on root surfaces. *Angle Orthod* 2011;81(6):1021-1027.
35. Karu T. Laser biostimulation: a photobiological phenomenon. *J Photochem Photobiol B* 1989:638-640.
36. Karu T, Pyatibrat LV, Kalendo GS. Photobiological modulation of cell attachment via cytochrome c oxidase. *Photochem Photobiol Sci* 2004;3:211-216.
37. Kokich VG. Surgical and orthodontic management of impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:278-283.
38. Korbendau J, Guyomard F. Chirurgie parodontale orthodontique. Chapitre 4 : diastème médian et frein labial supérieur. pp. 55-63.
39. Korbendau JM, Patti A. Les dents incluses. Traitement orthodontique et chirurgical. Ed. Quintessence International, 2014.
40. Kumar S, *et al.* Development in techniques for gingival dépigmentation. *Indian J Dentistry* 2012;3(4).
41. Le Gall M, Sastre J. The fundamental of tooth movement. *Int Orthod* 2010;8:1-13.
42. Legris S. Managing pain and discomfort in orthodontics. *J Dentofacial Abnom Orthod* 2011;14:109.
43. Limpanichkul W, Gofrey K, Srisuk N, Rattanayatikul C. Effects of low level therapy on the rate of orthodontic tooth movement. *Orthod Craniofac Res* 2006;9:38-43.
44. Mapparapu M. Patterns of intra-osseous transmigraton and ecopic eruption of mandibular canines: review of literature and report of nine additional cases. *Dentomaxillofac Radiol* 2002;31(6):305-360.
45. Marquez-Diaz M. Réalisation d'un protocole d'étude clinique randomisée de l'effet du laser diode sur la cinétique du déplacement dentaire en orthodontie. Thèse de doctorat en chirurgie dentaire, 2014.
46. Marquina N. Biostimulation effects of superpulsed, high intensity, low average power laser application on the timing of orthodontic aligner sequencing of the system. *J Laser Dent* 2009;17:139-145.
47. Mayer Luciano, *et al.* Effects of low-level laser therapy on distraction osteogenesis: a histological analysis. *RFO UPF [online]* 2012;17(3):326-331.
48. Mirko P, Miroslav S, Lubor M. Significance of the labial frenum attachment in periodontal disease in man. Part I. *J Periodontol* 1974;45(12):891-894.
49. Pourrat F. *Laser et orthodontie clinique*. Ed QC2M, 2016.
50. Pourrat F, Pourrat F. Maintenir et embellir les traitements orthodontiques : le laser, une place de choix. *Rev Orthop Dento Faciale* 2018;52:1-22.
51. Pourrat F. Renforcez la qualité de vie de nos patients adoléscent. *Orthodontie Bioprogressive* 2014.
52. Pourrat F. La biomodulation : une aide complémentaire pour l'orthodontiste. *Rev Orthop Dento Faciale* 2016;50:237-252.
53. Pourrat F, Velasquez S. Chapter Laser and impacted or retained teeth impacted teeth and laser in Impacted teeth. Paris : Ed. Quintessence (à paraître).
54. Saito S, Shimizu N. Stimulatory effects of low power laser irradiation on bone regeneration in midpalatal suture during expansion in the rat. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;111:525-532.
55. Sari E, Sari T. The role of acupuncture in the treatment of orthodontic patients with a gagging reflex: a pilot study. *Br Dent J* 2010;208(10):E19.
56. Schiffman E, Ohrbach R, Truelove E, Look J. Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (DC/TMD) for Clinical and Research Applications: recommendations of the International RDC/TMD Consortium Network and Orofacial Pain Special Interest Group. *Practice Guideline. J Oral Facial Pain Headache* 2014;28(1):6-27.
57. Sonesson, *et al.* Efficacy of low-level laser therapy in accelerating tooth movement, preventing relapse and managing acute pain during orthodontic treatment in humans: a systematic review. *BMC Oral Health* 2016;17(1):11.
58. Sousa MV, *et al.* Influence of the low level laser on the speed of orthodontic movement. *Photomed Laser Surg* 2011;29(3):191-196.
59. Takeda Y. Irradiation effect of low-energy laser on alveolar bone after tooth extraction: Experimental study in rats. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1998;17:388-391.
60. Tedford, *et al.* Quantitative analysis of transcranial and intraparenchymal light penetration in human cadaver brain tissue. *Laser Surgery Med* 2015;47(4):312-322.
61. To TNF, *et al.* The adjunct effectiveness of diode laser gingivectomy in maintaining periodontal health during orthodontic treatment. *Angle Orthod* 2013;83(1): 43-47.
62. Trelles MA, Allones I. Red light-emitting diode (LED) therapy accelerates wound healing post-blepharoplasty and periocular laser ablative resurfacing. *J Cosmet Laser* 2006;8:39-42.
63. Tumilty S, *et al.* Low level laser treatment of tendinopathy: a systematic review with meta-analysis. *Photomed Laser Surg* 2010;28(1):3-16.
64. Vassal AL. Les céramiques. *Orthod Fr* 2009;80:33-46.
65. Vergara P. E-Conferencia 2021- 05. Impacted Teeth. Evaluation of difficulty (courtesy Chris Chang).
66. Vitale MC, *et al.* Diode laser irradiation and fluoride uptake in human teeth. *Eur Arch Paediat* 2011;12(2): 90-92.
67. Walsh LJ. The current status of low level laser therapy in dentistry. Part 1. Soft tissue applications. *Australian Dent J* 1997;42(4):247-254.

68. Xu GZ, Jia J, *et al.* Low-Level Laser Therapy for Temporomandibular Disorders: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Res Manag* 2018;4230583.
69. Yassaei S, Soleimanian A, Nik ZE. Effects of Diode Laser Debonding of Ceramic Brackets on Enamel Surface and Pulpal Temperature. *J Contemp Dent Pract* 2015;16(4): 270-274.
70. Yanowski MR. The soft tissue laser: Managing treatment and enhancing aesthetics. Banding, bands, brackets, diode lasers. *Orthodontics products*. 2006.
71. Youssef M, Ashkar S, Hamade E, Gutknecht N, Lampert F, Mir M. The effect of low-level laser therapy during orthodontic movement: a preliminary study. *Lasers Med Sci* 2008;23:27-33.
72. Zahra SE, Elkasi AA, Eldinb MS, Vandevska-Radunovic V. The effect of low level laser therapy (LLLT) on bone remodelling after median diastema closure: A one year and half follow-up study. *Orthod Waves* 2009;68:116-122.