



HAL
open science

Application de la photobiomodulation en chirurgie orthognatique : mise en place d'un protocole

Xavier Payet

► **To cite this version:**

Xavier Payet. Application de la photobiomodulation en chirurgie orthognatique : mise en place d'un protocole. Médecine humaine et pathologie. 2019. dumas-02505853

HAL Id: dumas-02505853

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02505853v1>

Submitted on 11 Mar 2020

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

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

UNIVERSITE DE NICE SOPHIA-ANTIPOLIS
FACULTE DE MEDECINE DE NICE

**APPLICATION DE LA PHOTOBIMODULATION EN
CHIRURGIE ORTHOGNATIQUE :
MISE EN PLACE D'UN PROTOCOLE**

THESE

Pour le diplôme d'état de Docteur en Médecine

Présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine de Nice

Le 10 Septembre 2019

Par

Xavier PAYET

Né le 18 novembre 1991 à Villeneuve Saint Georges

Membres du Jury :

<u>Président du Jury :</u>	Monsieur le Professeur Laurent CASTILLO
<u>Directeur de Thèse :</u>	Monsieur le Docteur Charles SAVOLDELLI
<u>Assesseurs :</u>	Madame le Docteur Christine VOHA Monsieur le Professeur Alexandre BOZEC
<u>Membre invité :</u>	Monsieur le Docteur Vincent LE BAS

UNIVERSITE DE NICE SOPHIA-ANTIPOLIS

FACULTE DE MEDECINE DE NICE

**APPLICATION DE LA PHOTOBIMODULATION EN
CHIRURGIE ORTHOGNATIQUE :
MISE EN PLACE D'UN PROTOCOLE**

THESE

Pour le diplôme d'état de Docteur en Médecine

Présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine de Nice

Le 10 Septembre 2019

Par

Xavier PAYET

Né le 18 novembre 1991 à Villeneuve Saint Georges

Membres du Jury :

Président du Jury : Monsieur le Professeur Laurent CASTILLO

Directeur de Thèse : Monsieur le Docteur Charles SAVOLDELLI

Assesseurs : Madame le Docteur Christine VOHA

Monsieur le Professeur Alexandre BOZEC

Membre invité : Monsieur le Docteur Vincent LE BAS

Liste des enseignants au 1er septembre 2018 à la Faculté de Médecine de Nice

Doyen

Pr. BAQUÉ Patrick

Vice-doyens

**Pédagogie
Recherche
Etudiants**

**Pr. ALUNNI Véronique
Pr DELLAMONICA jean
M. JOUAN Robin**

Chargé de mission projet Campus

Pr. PAQUIS Philippe

Conservateur de la bibliothèque

Mme AMSELLE Danièle

Directrice administrative des services

Mme CALLEA Isabelle

Doyens Honoraires

M. RAMPAL Patrick
M. BENCHIMOL Daniel

Liste des enseignants au 1er septembre 2018 à la Faculté de Médecine de Nice

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

M.	AMIEL Jean	Urologie (52.04)
M.	BAQUÉ Patrick	Anatomie - Chirurgie Générale (42.01)
M.	BERNARDIN Gilles	Réanimation Médicale (48.02)
M.	BOILEAU Pascal	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (50.02)
M.	DARCOURT Jacques	Biophysique et Médecine Nucléaire (43.01)
M.	ESNAULT Vincent	Néphrologie (52-03)
M.	FENICHEL Patrick	Biologie du Développement et de la Reproduction (54.05)
M.	FUZIBET Jean-Gabriel	Médecine Interne (53.01)
M.	GILSON Éric	Biologie Cellulaire (44.03)
M.	GUGENHEIM Jean	Chirurgie Digestive (52.02)
M.	HASSEN KHODJA Reda	Chirurgie Vasculaire (51.04)
M.	HÉBUTERNE Xavier	Nutrition (44.04)
M.	HOFMAN Paul	Anatomie et Cytologie Pathologiques (42.03)
Mme	ICHAÏ Carole	Anesthésiologie et Réanimation Chirurgicale (48.01)
M.	LACOUR Jean-Philippe	Dermato-Vénérologie (50.03)
M.	LEFTHERIOTIS Geogres	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (51.04)
M.	MARQUETTE Charles-Hugo	Pneumologie (51.01)
M.	MARTY Pierre	Parasitologie et Mycologie (45.02)
M.	MICHIELS Jean-François	Anatomie et Cytologie Pathologiques (42.03)
M.	MOUROUX Jérôme	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire (51.03)
Mme	PAQUIS Véronique	Génétique (47.04)
M.	PAQUIS Philippe	Neurochirurgie (49.02)
M.	QUATREHOMME Gérald	Médecine Légale et Droit de la Santé (46.03)
M.	RAUCOULES-AIMÉ Marc	Anesthésie et Réanimation Chirurgicale (48.01)
M.	ROBERT Philippe	Psychiatrie d'Adultes (49.03)
M.	SANTINI Joseph	O.R.L. (55.01)
M.	THYSS Antoine	Cancérologie, Radiothérapie (47.02)
M.	TRAN Albert	Hépatogastro-entérologie (52.01)

Liste des enseignants au 1er septembre 2018 à la Faculté de Médecine de Nice

PROFESSEURS PREMIERE CLASSE

Mme	ASKENAZY-GITTARD Florence	Pédopsychiatrie (49.04)
M.	BARRANGER Emmanuel	Gynécologie Obstétrique (54.03)
M.	BÉRARD Étienne	Pédiatrie (54.01)
Mme	BLANC-PEDEUTOUR Florence	Cancérologie – Génétique (47.02)
M.	BONGAIN André	Gynécologie-Obstétrique (54.03)
Mme	BREUIL Véronique	Rhumatologie (50.01)
M.	CASTILLO Laurent	O.R.L. (55.01)
M.	CHEVALLIER Patrick	Radiologie et Imagerie Médicale (43.02)
M.	DE PERETTI Fernand	Anatomie-Chirurgie Orthopédique (42.01)
M.	DRICI Milou-Daniel	Pharmacologie Clinique (48.03)
M.	FERRARI Émile	Cardiologie (51.02)
M.	FERRERO Jean-Marc	Cancérologie ; Radiothérapie (47.02)
M.	FONTAINE Denys	Neurochirurgie (49.02)
M.	GIBELIN Pierre	Cardiologie (51.02)
M.	HANNOUN-LEVI Jean-Michel	Cancérologie ; Radiothérapie (47.02)
M.	LEVRAUT Jacques	Médecine d'urgence (48.05)
M.	LONJON Michel	Neurochirurgie (49.02)
M.	MOUNIER Nicolas	Cancérologie, Radiothérapie (47.02)
M.	PADOVANI Bernard	Radiologie et Imagerie Médicale (43.02)
M.	PICHE Thierry	Gastro-entérologie (52.01)
M.	PRADIER Christian	Épidémiologie, Économie de la Santé et Prévention (46.01)
Mme	RAYNAUD Dominique	Hématologie (47.01)
M.	ROSENTHAL Éric	Médecine Interne (53.01)
M.	SCHNEIDER Stéphane	Nutrition (44.04)
M.	STACCINI Pascal	Biostatistiques et Informatique Médicale (46.04)
M.	THOMAS Pierre	Neurologie (49.01)
M.	TROJANI Christophe	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (50.02)

Liste des enseignants au 1er septembre 2018 à la Faculté de Médecine de Nice

PROFESSEURS DEUXIEME CLASSE

Mme	ALUNNI Véronique	Médecine Légale et Droit de la Santé (46.03)
M.	ANTY Rodolphe	Gastro-entérologie (52.01)
M.	BAHADORAN Philippe	Cytologie et Histologie (42.02)
Mme	BAILLIF Stéphanie	Ophthalmologie (55.02)
Mme	BANNWARTH Sylvie	Génétique (47.04)
M.	BENIZRI Emmanuel	Chirurgie Générale (53.02)
M.	BENOIT Michel	Psychiatrie (49.03)
M.	BOZEC Alexandre	ORL- Cancérologie (47.02)
M.	BREAUD Jean	Chirurgie Infantile (54.02)
M.	CHEVALIER Nicolas	Endocrinologie, Diabète et Maladies Métaboliques (54.04)
Mme	CHINETTI Giulia	Biochimie-Biologie Moléculaire (44.01)
M.	CLUZEAU Thomas	Hématologie (47.01)
M.	DELLAMONICA Jean	réanimation médicale (48.02)
M.	DELOTTE Jérôme	Gynécologie-obstétrique (54.03)
M.	FOURNIER Jean-Paul	Thérapeutique (48.04)
Mlle	GIORDANENGO Valérie	Bactériologie-Virologie (45.01)
Mme	GIOVANNINI-CHAMI Lisa	Pédiatrie (54.01)
M.	GUÉRIN Olivier	Méd. In ; Gériatrie (53.01)
M.	IANNELLI Antonio	Chirurgie Digestive (52.02)
M.	ILIE Marius	Anatomie et Cytologie pathologiques (42.03)
M	JEAN BAPTISTE Elixène	Chirurgie vasculaire (51.04)
M.	PASSERON Thierry	Dermato-Vénérologie (50.03)
M.	ROGER Pierre-Marie	Maladies Infectieuses ; Maladies Tropicales (45.03)
M.	ROHRLICH Pierre	Pédiatrie (54.01)
M.	ROUX Christian	rhumatologie (50.01)
M.	RUIMY Raymond	Bactériologie-virologie (45.01)
Mme	SACCONI Sabrina	Neurologie (49.01)
M.	SADOUL Jean-Louis	Endocrinologie, Diabète et Maladies Métaboliques (54.04)

Liste des enseignants au 1er septembre 2018 à la Faculté de Médecine de Nice

MAITRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

M.	AMBROSETTI Damien	Cytologie et Histologie (42.02)
M.	BENOLIEL José	Biophysique et Médecine Nucléaire (43.01)
Mme	BERNARD-POMIER Ghislaine	Immunologie (47.03)
M.	BRONSARD Nicolas	Anatomie Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (42.01)
Mme	BUREL-VANDENBOS Fanny	Anatomie et Cytologie pathologiques (42.03)
M.	DOGLIO Alain	Bactériologie-Virologie (45.01)
M	DOYEN Jérôme	Radiothérapie (47.02)
M	FAVRE Guillaume	Néphrologie (52.03)
M.	FOSSE Thierry	Bactériologie-Virologie-Hygiène (45.01)
M.	GARRAFFO Rodolphe	Pharmacologie Fondamentale (48.03)
Mme	HINAULT Charlotte	Biochimie et biologie moléculaire (44.01)
M.	HUMBERT Olivier	Biophysique et Médecine Nucléaire (43.01)
Mme	LAMY Brigitte	Bactériologie-virologie (45.01)
Mme	LONG-MIRA Elodie	Cytologie et Histologie (42.02)
Mme	MAGNIÉ Marie-Noëlle	Physiologie (44.02)
Mme	MOCERI Pamela	Cardiologie (51.02)
M.	MONTAUDIE Henri	Dermatologie (50.03)
Mme	MUSSO-LASSALLE Sandra	Anatomie et Cytologie pathologiques (42.03)
M.	NAÏMI Mourad	Biochimie et Biologie moléculaire (44.01)
Mme	POMARES Christelle	Parasitologie et mycologie (45.02)
M.	SAVOLDELLI Charles	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie (55.03)
Mme	SEITZ-POLSKI barbara	Immunologie (47.03)
M.	TESTA Jean	Épidémiologie Économie de la Santé et Prévention (46.01)
M.	TOULON Pierre	Hématologie et Transfusion (47.01)

Liste des enseignants au 1er septembre 2018 à la Faculté de Médecine de Nice

PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS

M. HOFLIGER Philippe Médecine Générale (53.03)

MAITRE DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS

M. DARMON David Médecine Générale (53.03)

PROFESSEURS AGRÉGÉS

Mme LANDI Rebecca Anglais

PRATICIEN HOSPITALIER UNIVERSITAIRE

M. DURAND Matthieu Urologie (52.04)

PROFESSEURS ASSOCIÉS

M. GARDON Gilles Médecine Générale (53.03)

Mme MONNIER Brigitte Médecine Générale (53.03)

MAITRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS

Mme CASTA Céline Médecine Générale (53.03)

M. GASPERINI Fabrice Médecine Générale (53.03)

M. HOGU Nicolas Médecine Générale (53.03)

Liste des enseignants au 1er septembre 2018 à la Faculté de Médecine de Nice

Constitution du jury en qualité de 4ème membre

Professeurs Honoraires

M ALBERTINI Marc	M. GASTAUD Pierre
M. BALAS Daniel	M. GÉRARD Jean-Pierre
M. BATT Michel	M. GILLET Jean-Yves
M. BLAIVE Bruno	M. GRELLIER Patrick
M. BOQUET Patrice	M. GRIMAUD Dominique
M. BOURGEON André	M. JOURDAN Jacques
M. BOUTTÉ Patrick	M. LAMBERT Jean-Claude
M. BRUNETON Jean-Noël	M. LAZDUNSKI Michel
Mme BUSSIERE Françoise	M. LEFEBVRE Jean-Claude
M. CAMOUS Jean-Pierre	M. LE FICHOUX Yves
M. CANIVET Bertrand	Mme LEBRETON Elisabeth
M. CASSUTO Jill-patrice	M. MARIANI Roger
M. CHATEL Marcel	M. MASSEYEFF René
M. COUSSEMENT Alain	M. MATTEI Mathieu
Mme CRENESSE Dominique	M. MOUIEL Jean
M. DARCOURT Guy	Mme MYQUEL Martine
M. DELLAMONICA Pierre	M. ORTONNE Jean-Paul
M. DELMONT Jean	M. PRINGUEY Dominique
M. DEMARD François	M. SAUTRON Jean Baptiste
M. DESNUELLE Claude	M. SCHNEIDER Maurice
M. DOUSI Claude	M. TOUBOL Jacques
Mme EULLER-ZIEGLER Liana	M. TRAN Dinh Khiem
M. FRANCO Alain	M VAN OBBERGHEN Emmanuel
M. FREYCHET Pierre	M. ZIEGLER Gérard

M.C.U. Honoraires

M. ARNOLD Jacques	M. GIUDICELLI Jean
M. BASTERIS Bernard	M. MAGNÉ Jacques
Mlle CHICHMANIAN Rose-Marie	Mme MEMRAN Nadine
Mme DONZEAU Michèle	M. MENGUAL Raymond
M. EMILIOZZI Roméo	M. PHILIP Patrick
M. FRANKEN Philippe	M. POIRÉE Jean-Claude
M. GASTAUD Marcel	Mme ROURE Marie-Claire

REMERCIEMENTS

Monsieur le Professeur Laurent Castillo,

Vous me faites l'honneur de présider ce jury de thèse.

J'ai eu la chance, lors de mon passage à l'institut universitaire de la face te du cou, de bénéficier de votre expérience et de la richesse de vos enseignements.

Veillez accepter toute ma reconnaissance ainsi que mon plus grand respect.

Monsieur le Professeur Alexandre Bozec,

Vous me faites l'honneur de juger ce travail de thèse.

Je n'ai pas eu le plaisir de travailler avec vous mais j'espère pouvoir développer une étroite collaboration entre nos deux spécialités.

Veillez trouver dans ce travail, le témoignage de mon plus profond respect.

A mon directeur, le Docteur Charles Savoldelli.

Merci de m'avoir confié ce sujet et d'avoir dirigé mon travail de thèse.

J'ai pu apprécier pleinement vos conseils, votre patience ainsi que la disponibilité que vous m'avez apporté.

Que ce travail soit pour vous, l'expression de mon profond respect et ma grande gratitude.

Madame le Docteur Christine Voha,

Je suis honoré de vous compter dans ce jury.

Merci pour la bienveillance, le soutien et l'encadrement dont vous avez fait preuve
durant mon internat. J'ai pu grâce à vous découvrir de nouvelles techniques.

Soyez assurée de ma sincère reconnaissance.

Monsieur le Docteur Vincent Le Bas,

Merci d'apporter votre jugement et votre vision expérimentée sur le sujet de la photobiomodulation.

Vous vous êtes montré très disponible.

C'est un plaisir de vous compter dans mon jury.

A ma famille :

A mes parents, vous êtes extraordinaires. Merci pour tous vos conseils, votre éducation, votre si belle vision du monde, vous êtes des exemples. Vous m'avez soutenu dans tous mes choix. Papa toujours là pour moi, pour m'aider, m'encourager. Merci pour tout ce que tu m'as appris. Maman toujours derrière moi, à me pousser, à faire de moi une meilleure personne. Merci de croire autant en moi et pour toutes tes petites attentions si importantes.

A ma sœur, Maëlle, ma coéquipière de toujours. Tous ces moments partagés ensemble, les fous rires, les embrouilles. Toutes ces heures de bouchons en voiture, inoubliables, n'auraient pas été les mêmes sans toi. J'ai toujours pu tout te raconter et grandir à tes côtés. Content de te retrouver à Cannes !

A Reda, merci pour tes conseils. J'attends avec impatience cette fameuse course !

A mes grands-parents, Yaya et Maïté merci pour tout ce que vous m'avez fait découvrir et pour tous ces beaux souvenirs : les balades à l'océan, la montagne et les cocas, les vignes, la cage aux lions.

A mamie Monique, merci de t'être si bien occupé de moi. Je t'aime fort.

Mes petits parisiens **Yannick, Maxime et Manon**, toujours un plaisir de vous voir !

A mes amis :

Flo, une si petite femme mais si importante pour moi. Ce petit grain de folie, cette joie de vivre. Toutes ces jolies lettres. Cette capacité à dormir partout c'est vraiment incroyable ! Hâte de partir à l'aventure avec toi !

Alex et Claire. Alex, jamais vu un enfant de 28 ans. T'as vraiment rendu la coloc incroyable, je n'oublierai jamais. Un immense plaisir d'avoir été ton témoin. Claire ma deuxième maman, merci d'être toujours si attentionnée, de ta patience, d'avoir écouté tous mes bouillons ! Hâte de la suite, hâte d'être parrain :)

Franck, un beau début d'internat grâce à toi, à Cannes puis à Nice, de belles journées ski, beaucoup de ti'punch !

Les gars de la coloc. **Kevin** le nouveau monégasque, va falloir revenir maintenant ! Une super rencontre depuis la Croatie, un enthousiasme sans faille pour le kwartz. Heureusement qu'on était là pour s'occuper de toi quand même ! **Louis** merci pour ta bonne humeur, pour tous les voyages, toutes les randos.

Toutes la bande **Loic, Sabou, Fauve, Guitou, Hélène et Ju**, plein de bons moments passés avec vous !

Max, trop de choses à dire, je ne suis pas prêt d'oublier cette fête de la musique il y a 3 ans. T'es vraiment un mec incroyable, tellement content de t'avoir rencontré. Ne change rien, merci d'être là !

Hana, ma petite tchèque préférée ! Mon petit soleil à Saint Roch, c'était un bonheur de faire mon internat avec toi, merci de l'avoir rendu si agréable.

Sophie et Matthew, Sophie si calme et Matthew si fou ! Les repas, les garibs, les apéros réserve et les soirées jeux. Bisous à Titan !

Mathieu, Steph, Olivier, Mirabelle, Flore, Edgar et Ines (toujours partante pour les food truck :)) merci pour tous les bons souvenirs sur Nice avec vous.

Morgane, quelle belle rencontre ! Toujours des moments merveilleux avec toi ! Merci d'être si présente pour moi.

Enzo, un homme si sain et si loyal ! Une bien jolie découverte. Heureusement que l'aspirine existe pour toi.

Raph et Jo, mon petit Johnny et ma petite kiki, pas de jaloux les confettis arrivent !

Louise et Timo, le couple des after, **Yuji** si sage qu'il ne dure pas jusqu'à l'after, **Léa** et nos folles soirées à Jean Bouin, **Sofia, Caroline, Mlle Bibby et tous les peintres**, vous êtes un groupe génial !

Juliette, ma petite biboune, ma petite Mylène en herbe ! Les meilleurs pâtes que j'ai mangées, toujours « pausé » évidemment !

Léa tes câlins fort et massage du crâne, **Lucia et Margaux** les infatigables de château perché !

Claire, toujours content de te retrouver comme si rien n'avait changé ! Notre premier 4 sans à Bordeaux comme si c'était ! Merci pour cette amitié qui dure malgré la distance et le temps.

Steph, la seule personne qui ne sait pas rentrer chez elle, pourtant saint Etienne ce n'est pas si grand :) Un bien bel été passé avec toi sur Nice.

Manon, en souvenir de toutes nos danses ! Merci pour ta spontanéité.

Max, tous ces étés et ces week-end passés sur le bassin.

Margaux, toutes ces journées au club ou chez toi dans la piscine !

Faustine et Lauriane, le fameux trio, et les engueulades qui vont avec.

A l'équipe de Cannes, merci de votre accueil, votre bienveillance et de votre gentillesse. Je ne pouvais pas trouver mieux pour commencer mon internat, content de continuer avec vous.

A l'équipe de saint Roch, merci pour l'encadrement et la formation que vous m'avez apportés.

Merci à tous les cointernes que j'ai rencontré, mention spéciale pour toi **Hélène**, merci pour tout.

I.	INTRODUCTION	18
A.	Historique et définition du laser et de la photobiomodulation.....	19
B.	Fonctionnement et réactions de la photobiomodulation.....	21
C.	Effet biphasique de la photobiomodulation	25
D.	Innocuité et contre indications de la photobiomodulation	26
E.	Paramètres d'un traitement par laser	27
F.	Indications de la photobiomodulation : généralités.....	29
G.	Indications de la photobiomodulation en chirurgie orale et maxillo-faciale	30
H.	Les intérêts de la photobiomodulation sur les complications de la chirurgie orthognatique...	32
II.	MATERIELS ET METHODES.....	35
III.	RESULTATS	44
IV.	DISCUSSION.....	54
V.	CONCLUSION.....	60
VI.	BIBLIOGRAPHIE.....	61

I. INTRODUCTION

La lumière est une onde électro-magnétique vibratoire, caractérisée par sa longueur d'onde et sa fréquence. Elle est composée de petites particules appelées photons. Chaque photon peut vibrer à une fréquence définie, à laquelle correspond une longueur d'onde, mesurée en nanomètre. Le spectre de la lumière varie en fonction de cette dernière :

- Les rayons ultra-violets de 150 à 380nm
- La lumière violette de 380 à 450nm
- La lumière bleue de 450 à 500nm
- La lumière verte de 500 à 550nm
- La lumière jaune de 550 à 600nm
- La lumière rouge de 600 à 760nm
- Et la lumière infra rouge >760nm

Elle est utilisée depuis plus de 3000 ans par diverses populations (chinoises, indiennes, égyptienne) à des buts médicaux. Chaque longueur d'onde possède des propriétés biologiques variées : on sait, par exemple, que les rayons ultra-violets promeuvent la synthèse de vitamine D, alors que la lumière du spectre visible, quant à elle, joue un rôle important sur notre rythme circadien.

Il faudra attendre la fin du XIXe siècle pour qu'émerge la photothérapie dans les pays occidentaux.

Il existe de nombreuses applications de la photobiomodulation en médecine et en chirurgie. L'intérêt spécifique en chirurgie du visage sur l'œdème reste encore à prouver car son application est récente et encore non évaluée dans tous les domaines de la chirurgie de la face et du cou. Cette thèse a pour but essentiel d'établir un protocole d'étude de l'effet anti-inflammatoire/anti-œdémateux de la photobiomodulation dans une chirurgie osseuse du visage : la chirurgie orthognatique.

A. Historique et définition du laser et de la photobiomodulation

La photobiomodulation, initialement : thérapie par laser de basse énergie, correspond à une forme de photothérapie utilisant des sources de lumière non ionisantes, par laser (light amplification by stimulated émission of radiation) ou LED (diodes électroluminescentes), dans le spectre visible ou infrarouge. C'est un processus non thermique impliquant des photorécepteurs au niveau des tissus. On retrouve divers résultats thérapeutiques comme la régénération tissulaire, la cicatrisation, la réduction de l'inflammation et un effet antalgique. La pénétration tissulaire ainsi que les effets retrouvés, varient en fonction de la couleur et donc de la longueur d'onde de la lumière utilisée.

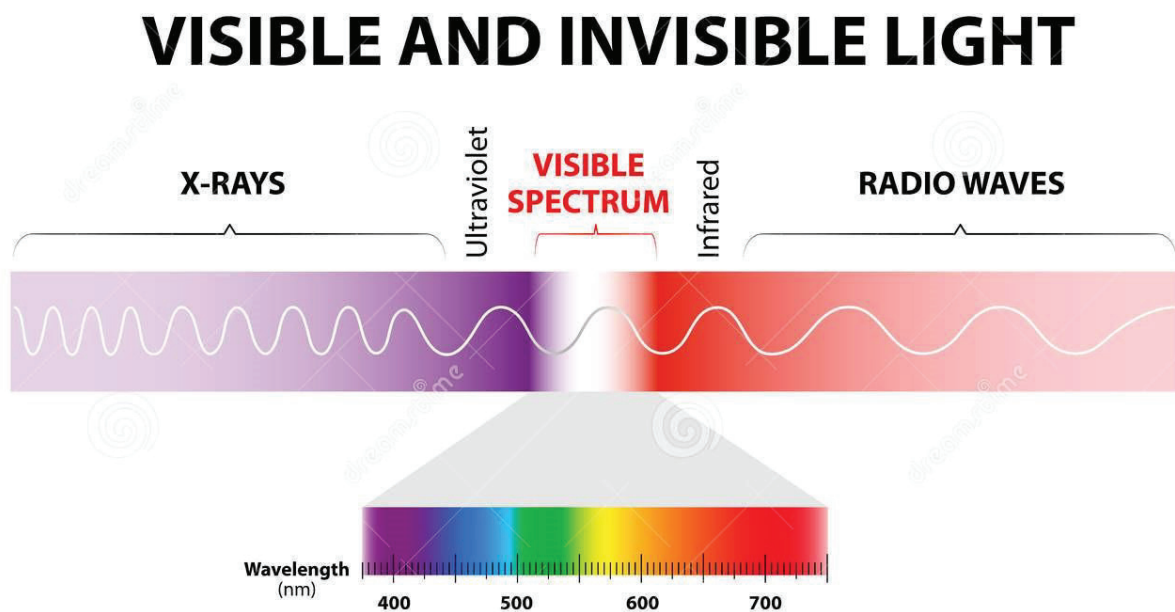


Figure 1: Spectre de la lumière

Le premier laser fut créé par le physicien Théodore Maiman à Los Angeles en 1960. Initialement, les lasers utilisaient un rayonnement de haute énergie dont le but était de produire une action thermique permettant la photocoagulation ou la section des tissus. De nombreux modèles ont été créés possédant chacun diverses spécificités et de multiples

indications dans le domaine médical. L'essor des lasers de basse énergie, fonctionnant sans action thermique et donc sans dégager de chaleur, est plus tardive.

Le phénomène de photobiomodulation, fut décrit pour la première fois, par le hongrois Endre Mester en 1967. Il voulait voir si une exposition à des rayonnements de basse énergie pouvait entraîner l'apparition d'un cancer. Il réalisa dans ce but une expérience chez des souris. Après avoir rasé leurs poils de dos, il les sépara en deux groupes et irradia l'un des deux groupes avec un laser rouge d'une longueur d'onde de 694nm. A sa surprise, le groupe irradié ne déclara pas de cancer mais présenta une repousse des poils plus rapide que le groupe témoin. Il appela ce phénomène la bio stimulation par laser et découvrit ainsi les prémices de la photobiomodulation (1).

C'est en 2016 que la terminologie de photobiomodulation fut adoptée internationalement, remplaçant la thérapie par laser de basse énergie (2). Plusieurs raisons expliquent ce changement : tout d'abord aucune définition précise ne permettait de savoir exactement à quoi correspondait un laser de base énergie et deuxièmement le terme de laser était devenu obsolète avec l'arrivée des LED, en grande partie utilisées et ne correspondant pas à la thérapie par laser de faible énergie mais à une thérapie par LED de faible énergie.

Les lasers sont des sources de lumière qui utilisent un phénomène physique : l'émission stimulée, afin de créer un faisceau de lumière monochromatique, cohérent (toutes les ondes lumineuses sont en phases) et non divergent.

Les diodes laser sont des sources lumineuses basées sur le phénomène d'électroluminescence de matériaux semi-conducteurs, le plus souvent le nitrure de gallium-indium. Le faisceau émis est monochromatique, cohérent. Par rapport aux lasers, les LED lasers sont bien plus récentes avec une apparition dans la littérature au début du XXI siècle. Un des avantages est le coût de ces dernières : bien inférieur à celui des lasers (le coût par mW est environ cent fois inférieur pour les LED). La deuxième différence majeure repose sur la surface d'exposition, les lasers ont une surface très étroite (jusqu'à quelques nm) alors que pour les LED les surfaces sont plus grandes (minimum 1 à 2mm). Le traitement des grandes surfaces corporelles est donc simplifié grâce aux LED, diversifiant le champ d'action de la photobiomodulation (3).

B. Fonctionnement et réactions de la photobiomodulation

Depuis sa découverte, de nombreuses études ont été réalisées, notamment par le Pr Tiina Karu et le Dr Hambin, afin d'étudier les effets et comprendre les mécanismes de ce phénomène. La réponse cellulaire se propage des cellules aux tissus et aux organes avoisinants entraînant des effets anti-inflammatoires, anti-œdémateux, antalgiques, une prolifération cellulaire, une néovascularisation, une récupération accélérée avec une meilleure cicatrisation et un équilibrage du système auto-immun. Ainsi ont été prouvés les effets bénéfiques sur diverses pathologies (4).

La première loi de la photobiomodulation repose sur le fait que pour induire un effet, les photons de la lumière doivent être absorbés et réagir avec un élément localisé à l'intérieur des tissus : les photorécepteurs (5). Les photorécepteurs sont des molécules qui confèrent à un composé une couleur, on retrouve parmi ces derniers : l'hémoglobine, la myoglobine, les cytochromes, les flavines, les flavoprotéines et les porphyrines. Tiina Karu découvre la première que les photorécepteurs réagissant avec la lumière sont situés au niveau des mitochondries, plus précisément au niveau de l'enzyme cytochrome C oxydase (CCO) (6).

Les mitochondries, souvent décrites comme les « centrales énergétiques » des cellules, contribuent à l'essentiel de la production d'adénosine triphosphate (ATP) cellulaire à travers la β -oxydation, le cycle de Krebs et la chaîne respiratoire dans le cadre de la phosphorylation oxydative. Rappelons que l'ATP est la molécule énergétique ubiquitaire utilisée dans un très grand nombre de réactions chimiques du métabolisme, permettant la cicatrisation et la guérison des tissus.

L'enzyme CCO, 4^{ème} complexe de la chaîne respiratoire mitochondrienne, possède un site de fixation pour l'oxygène, permettant après réaction de produire l'ATP. En effet, elle catalyse le transfert d'électrons et leur réaction avec une molécule d'oxygène, aboutissant à la formation de deux molécules d'eau, entraînant la migration de quatre

protons vers l'espace intermembranaire mitochondrial. Ce flux de protons génère un gradient électrochimique à travers la membrane interne, permettant ainsi une activité de l'ATP synthétase et par conséquent la formation d'ATP.

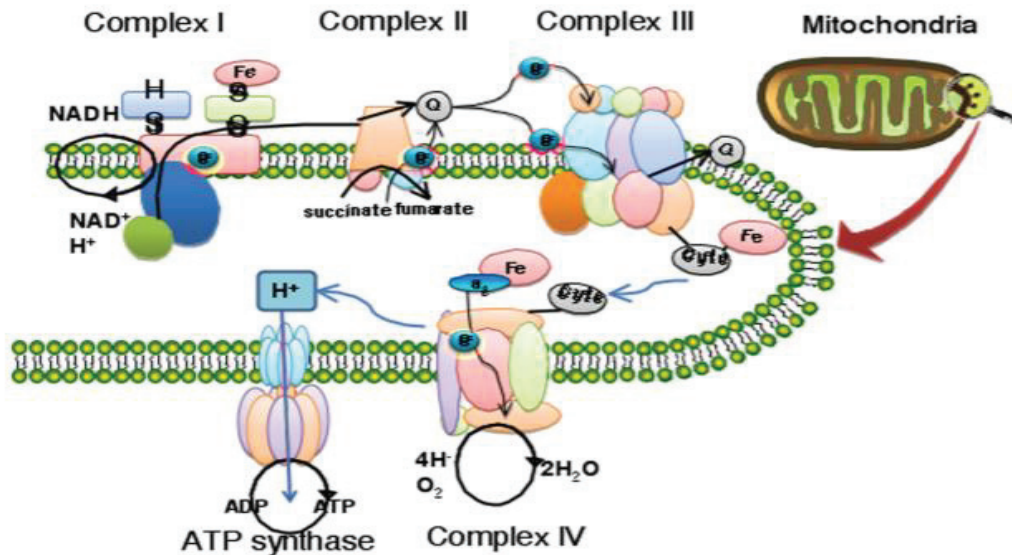


Figure 2: Chaîne respiratoire de la mitochondrie et fonctionnement de l'enzyme cytochrome C oxydase

Les mécanismes de la photobiomodulation s'expliquent par différents phénomènes au sein de ce photorécepteur par l'intermédiaire de la lumière rouge et infrarouge :

- ◆ La production accrue d'ATP par action sur le monoxyde d'azote (NO)
- ◆ Une modulation de la concentration des dérivés réactifs de l'oxygène (DRO) ainsi que des facteurs de transcription comme NF-kB.

La première explication implique donc le NO. Le NO, molécule connue pour inhiber le fonctionnement de la CCO par formation d'une liaison non covalente en son sein, serait photodissocié par les photons de la lumière rouge ou infra-rouge, permettant ainsi une augmentation de l'activité de la CCO et la plus forte production d'ATP. La concentration en NO serait plus grande dans les cellules en état de stress oxydatif (maladie, blessure,

vieillesse), expliquant ainsi la meilleure réponse des tissus en souffrance à la photothérapie (7).

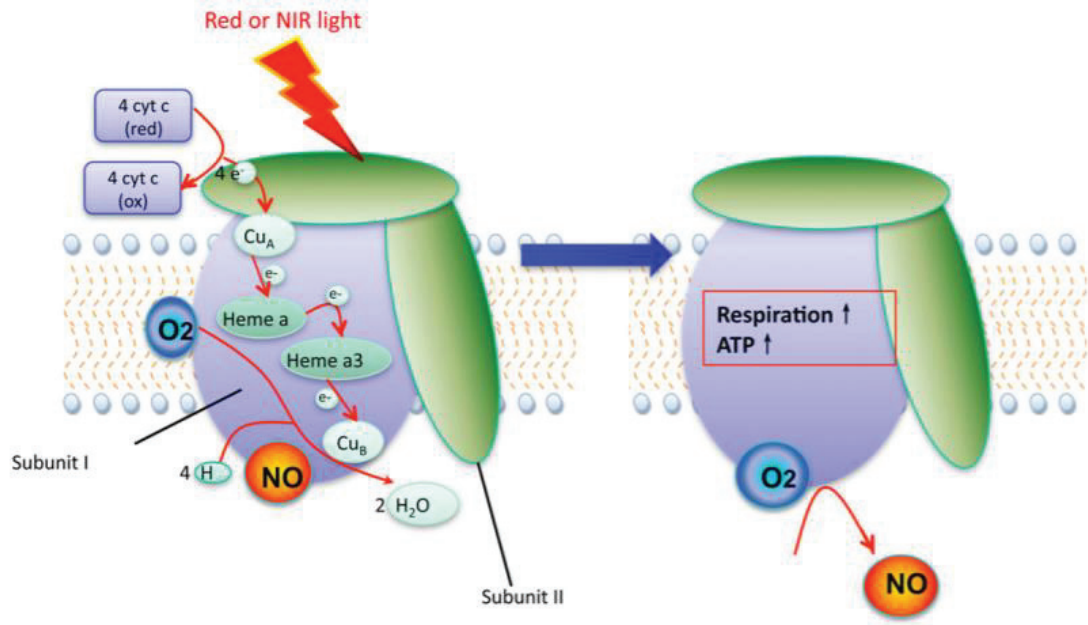


Figure 3: Action de la photobiomodulation sur le monoxyde d'azote au sein de l'enzyme cytochrome C oxydase

La deuxième explication passe par le gradient électrochimique de la membrane mitochondrienne et les DRO.

- ◆ Dans le cas d'une cellule saine, l'exposition à la lumière rouge ou infrarouge, entraîne une augmentation du gradient électrochimique de la membrane interne de la mitochondrie au delà de ses valeurs normales (favorisant donc la production d'ATP), entraînant à son tour une brève et légère augmentation des dérivés réactifs de l'oxygène. Les DRO possèdent un fonctionnement complexe, et répondent à une courbe biphasique : un faible taux favorise la prolifération cellulaire alors qu'un taux élevé entraîne une inhibition de la prolifération cellulaire et la mort des cellules.

- ◆ Chez les cellules en état de stress oxydatif, on retrouve une augmentation des DRO et une baisse du gradient électrochimique. Les effets de la photobiomodulation sont alors différents. En effet, les photons permettent d'élever et de ramener le gradient électrochimique de la membrane interne vers sa valeur normale et entraînent en parallèle une diminution des DRO, supprimant ainsi l'effet néfaste entraîné par leur taux élevé (8).

La photobiomodulation entraîne aussi une diminution des marqueurs de stress oxydatifs TBARS (9) et une diminution des cytokines pro-inflammatoires (10).

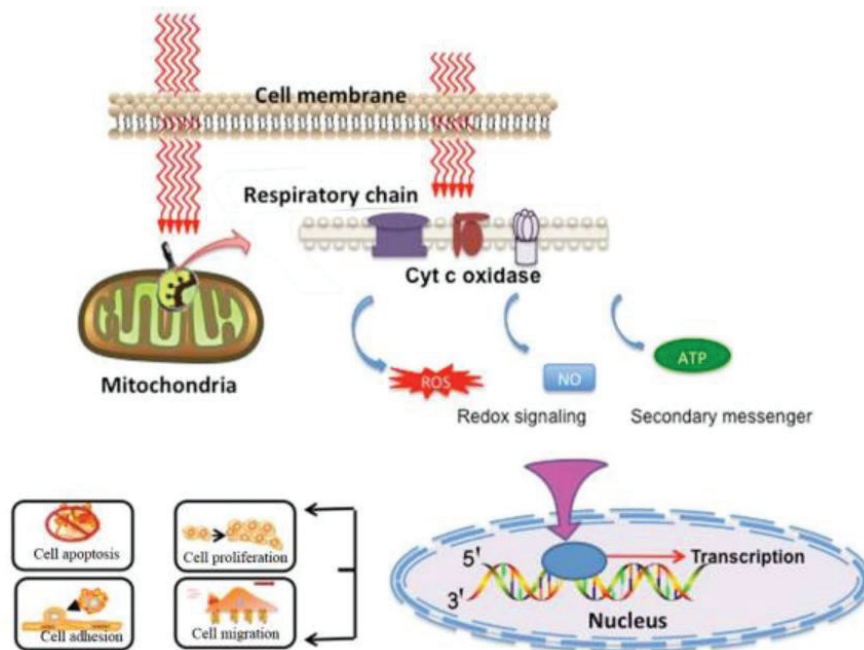


Figure 4: Actions de la photobiomodulation au niveau de la mitochondrie

C. Effet biphasique de la photobiomodulation

L'effet dose dépendant de la photobiomodulation est important et décrit par Lanzafame et al. en 2007 (11). Retrouvé sous le terme d'hormèse de nos jours, utilisé par Stebbing en 1982 pour la première fois : "principe désignant une réponse de stimulation biologiques souvent favorable lors d'une exposition à de faibles doses de toxines ou autres agents ou phénomènes générateurs de stress". Terme succédant à la loi Arndt-Schulz, datant de la fin du XIX^{ème} siècle, aujourd'hui obsolète, selon laquelle : "pour toute substance, de faibles doses stimulent et de fortes doses tuent".

Dans le cas de la photobiomodulation on ne retrouve pas une courbe linéaire dose-effet mais une courbe biphasique :

- ◆ Pour de faibles doses aucune réponse cellulaire ne sera retrouvée.
- ◆ Pour des doses moyennes, une bio stimulation sera observée.
- ◆ Pour des doses trop élevées, la stimulation sera remplacée par une inhibition et des effets délétères (12).

On comprend donc que le choix de la dose délivrée dans le cadre d'un traitement par photobiomodulation est primordial.

D. Innocuité et contre indications de la photobiomodulation

Il est important de noter que l'innocuité de la photobiomodulation a été prouvée par plusieurs études, contrairement aux techniques par lasers de haute énergie.

Grâce à sa faible énergie délivrée et son processus non thermique, il n'y a pas de destruction tissulaire, épargnant ainsi les dangers rencontrés habituellement avec les autres lasers (13). Après plusieurs décennies d'utilisation, aucun effet secondaire nocif n'a été reporté. La Food and Drug Administration, l'administration américaine qui gère la commercialisation des médicaments sur le territoire des états Unis a classé les principaux appareils de photobiomodulation dans la catégorie III, soit des dispositifs médicaux ne présentant aucun risque significatif.

Quelques précautions sont tout de même à prendre en compte avant d'utiliser un laser de base énergie. Un effet nocif sur la rétine peut être observé par les rayons ultraviolets si l'on regarde la lumière émise, c'est pourquoi le patient devra porter des lunettes de protection lors des différentes séances de traitement par précaution, même si les rayons ultraviolets ne sont pas utilisés en photobiomodulation (14), le spectre s'étalant du bleu à l'infra rouge.

De plus on évitera le mode pulsé chez les patients épileptiques, en effet une telle lumière à des fréquences de 5-10 Hz peut générer des crises d'épilepsie. Il faut noter que les programmes de photobiomodulation utilisant ce mode ont des fréquences supérieures excluant théoriquement ce risque

Enfin on ne traitera pas les patientes enceintes, car aucune étude a été menée pour prouver l'absence d'effet tératogène et les patients sous traitement photosensibilisant.

E. Paramètres d'un traitement par laser

Plusieurs paramètres doivent être définis avant d'effectuer un traitement par photobiomodulation. En effet la variation de l'un d'entre eux conduira à des effets différents. Un protocole de photobiomodulation est caractérisé par :

- ◆ Sa longueur d'onde en nanomètre, des couleurs de lumière correspondant aux différentes longueurs d'onde : bleue, rouge ou infra-rouge
- ◆ Sa puissance en Watt (W),
- ◆ Son énergie en Joule (J), $\boxed{\text{Energie (J)} = \text{puissance (W)} \times \text{temps (S)}}$
- ◆ Son irradiance, ou densité de puissance (W/cm^2),
- ◆ Sa fluence ou dose délivrée (J/cm^2). $\boxed{F = J (W.S) / \text{Surface (cm}^2\text{)}}$
- ◆ Sa durée d'exposition (s)
- ◆ Le nombre et fréquence des séances de traitement
- ◆ La superficie irradiée
- ◆ La technique d'application : Il existe plusieurs matériaux pour réaliser un traitement par photobiomodulation. La source lumineuse peut être un laser ou des LED, et les moyens d'applications diverses, tels que : des masques faciaux, des stylos, des panneaux.

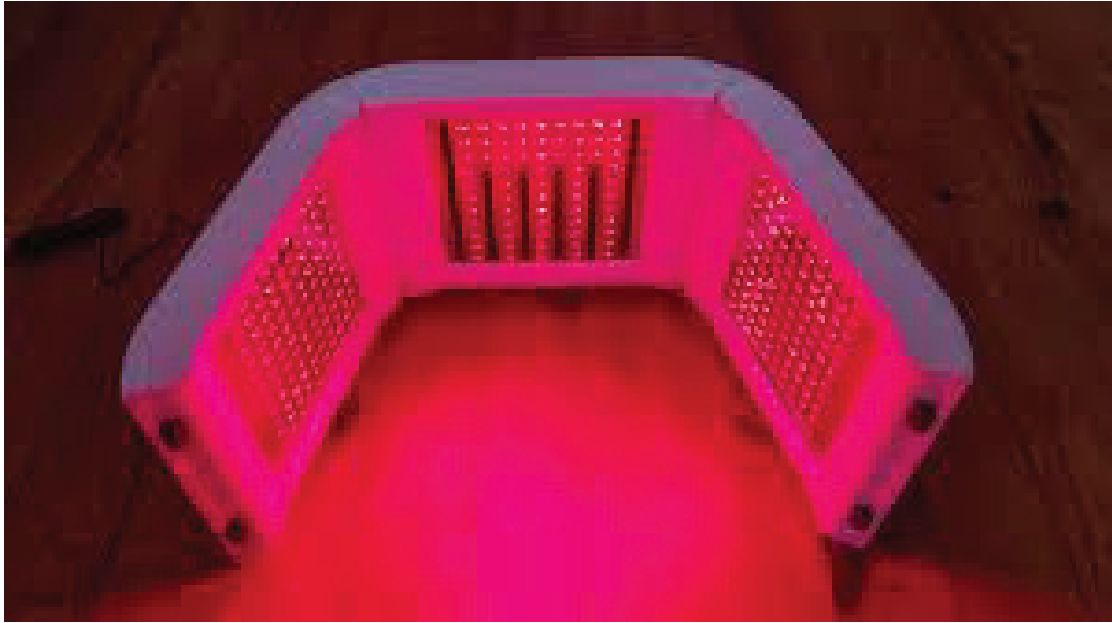


Figure 5: Exemple de panneaux utilisant la photobiomodulation

L'ensemble de ces caractéristiques sont importantes pour pouvoir juger d'un traitement par photobiomodulation (15). Une erreur assez répandue était de ne citer que la dose délivrée en J/cm^2 . Or comme l'ont démontré Lopes et Oron dans leur étude, pour une dose identique (J/cm^2), la variation de la densité de puissance (W/cm^2) ou encore de la puissance et du temps d'exposition, entraîne des effets sensiblement différents (16,17).

La notion de temps d'exposition est primordiale. L'effet clinique produit est directement en lien avec cette durée et la répétition de celle-ci. C'est Kreisler qui découvre en 2003 que le photobiomodulation doit être répétée sur plusieurs jours pour obtenir une réponse clinique satisfaisante. En effet, la prolifération des fibroblastes est accentuée durant les premières 24h après exposition à la lumière puis diminue. L'effet est donc court et temporaire nécessitant plusieurs expositions répétées pour un réel bénéfice (18).

F. Indications de la photobiomodulation : généralités

Depuis la découverte de la photobiomodulation, la recherche des bienfaits de cette dernière sur plusieurs pathologies ne cesse de croître comme le montre Heiskanen dans son étude (3).

Table 1 Medical indications studied in photobiomodulation research

Acne	Crescentic glomerulonephritis	Liver regeneration	Periodontitis
Achilles tendinitis	Delayed hypersensitivity	Lung fibrosis	Peritonitis
Acute pain	Dentin regeneration	Lung hemorrhage	Pleurisy
Acute respiratory distress syndrome	Depression	Lung inflammation	Pressure ulcer
Adipose tissue inflammation	Dermal abrasions	Lung injury	Radiation injury
Age-related macular degeneration	Diabetic kidney	Lymphedema	Restenosis
Allergic asthma	Diabetic eyes	Mastitis	Retinitis pigmentosa
Allergic contact dermatitis	Diaphragm muscle dysfunction	Methanol toxicity of retina	Rheumatoid arthritis
Allergic rhinitis	Eardrum perforation	Morphine withdrawal	Sarcopenia
Allodynia	Endophthalmitis	Multiple sclerosis	Sciatica
Alzheimer's disease	Exercise performance	Muscle injury	Spinal cord injury
Amyotrophic lateral sclerosis	Haemarthrosis	Myocardial infarct	Stroke
Aneurysm	Hair loss	Myonecrosis	Submandibular gland inflammation
Arthritis	Heart failure	Myopathy	Surgical wound infection
Atherosclerosis	Hearing loss	Nerve injury	Teeth re-implantation
Atrophic gastritis	Hyperalgesia	Neuropathic pain	Tendinopathy
Auditory neuropathy	Hypertension	Oral mucositis	Thrombocytopenia
Bone fracture	Kidney fibrosis	Oral ulcer by formocresol	Tinnitus
Bone grafts	Kidney injury	Osteoarthritis	TMJ inflammation
Burn injury	Laryngitis	Osteomyelitis	Tracheal incision healing
Cancer	Ligament injury	Osteoporosis	Traumatic brain injury
Colitis	Listeria infection	Parkinson's disease	Wound healing
COPD	Liver cirrhosis	Paw edema	

Figure 6: Ensemble des indications possible de la photobiomodulation étudiées en recherche (3)

Une des principales actions de la photothérapie étant la réduction de la douleur, on comprend le large éventail de pathologies qui pourraient bénéficier de ce traitement. L'effet agit aussi bien sur les douleurs aiguës que chroniques comme par exemple les douleurs névralgiques post-herpétiques ou les douleurs lors d'un zona.

Elle permet aussi d'améliorer la régénération nerveuse et pourrait apporter une aide dans les maladies neurologiques comme la maladie d'Alzheimer ou encore la sclérose latérale amyotrophique.

De par son contrôle sur le système auto-immun, on retrouve une action sur les maladies auto-immune ou inflammatoire comme le vitiligo ou les thyroïdites auto-immunes (19).

La photobiomodulation trouve aussi sa place dans les soins apportés aux sportifs pour une récupération tissulaire plus rapide, les tendinopathies ou douleurs articulaires (20).

Les effets bénéfiques concernent tous les domaines médicaux, en particulier la dermatologie. La peau étant un organe naturellement exposé à la lumière plus que n'importe quel autre, elle répond très bien à la lumière rouge et infra-rouge. Des utilités sont retrouvées dans le cadre de l'acné, l'onychomycose, les candidoses, le traitement des ulcères diabétiques/herpétiques, le vitiligo en stimulant la prolifération des mélanocytes et en inhibant les mécanismes auto-immuns à la base de la dépigmentation, l'alopécie, le psoriasis, les cicatrices chéloïdes et hypertrophiques, les brûlures (21). D'autres applications plus générales comme la protection des rayonnements solaires, le traitement de la cellulite ou encore des rides et le rajeunissement de la peau sont connues et utilisées à des fins plus esthétiques (22).

G. Indications de la photobiomodulation en chirurgie orale et maxillo-faciale

La photobiomodulation trouve sa place dans le traitement de nombreuses pathologies de chirurgie orale ou maxillo-faciale comme le prouvent différentes études réalisées (23).

Une des premières utilités est l'amélioration et l'accélération de la cicatrisation. Dans les études sur la réponse des fibroblastes on retrouve une division cellulaire et une production de collagène accrue pouvant expliquer ce phénomène (24). S'ajoute, comme pour les indications de dermatologie, une régénération de la peau par une riche vascularisation, une augmentation de la synthèse de collagène ou fibroblastes, une action de phagocytose des leucocytes.

Elle permettrait aussi l'activation de la croissance osseuse, particulièrement utile en implantologie par l'intermédiaire de la formation d'ATP, son action de néovascularisation et ses effets anti-inflammatoires. Cette action serait retrouvée sur des tissus déficients comme lors d'une fracture, après une avulsion ou après une greffe osseuse. En revanche sur un tissu sain aucune action de serait retrouvée (25).

Des études, comme celle de Mayer et al montrent une meilleure ostéointégration des implants dentaires (26).

L'effet antalgique de la photobiomodulation peut être utile dans plusieurs situations comme les avulsions multiples ou de dents de sagesse. La modification de la nociception s'effectuerait par le contrôle de la conduction nerveuse par l'intermédiaire de molécules comme l'endorphine et les enképhalines.

Un effet bénéfique a aussi été observé sur les maladies buccales telles que les gingivites, les aphtes, différentes formes d'ulcères, l'herpès et les parodontites. Les photons stimulent la synthèse de l'ADN des myofibroblastes et transforment les fibroblastes en myofibroblastes ce qui conduit à la cicatrisation des lésions.

Elle apporte aussi une aide précieuse dans le traitement des mucites, une complication bien connue des chimio-radiothérapie. Elle permet de réduire la sévérité et la durée de ces maladies comme l'ont démontré Barasch et al. (27) et apporte aussi une action prophylactique. Des études sur l'effet des lasers et des ostéochimionécroses induites par les bisphosphonates ont été menées mais ne permettent pas de conclure à un résultat significatif.

Un gain conséquent est aussi retrouvé dans le traitement des hypoesthésies du nerf alvéolaire inférieur qui peuvent être retrouvées après l'avulsion d'une dent de sagesse mandibulaire, lors de fractures mandibulaires à proximité du canal mandibulaire mais surtout lors d'une ostéotomie sagittale mandibulaire. En effet après une telle intervention il est souvent retrouvé des troubles sensitifs en post opératoire qui peuvent durer plusieurs mois et même laisser quelques séquelles (28,29).

Enfin, la photobiomodulation entre aussi dans l'arsenal thérapeutique des troubles temporo-mandibulaires par son effet analgésique, anti-inflammatoire et biostimulant, permettant une diminution de la limitation de l'ouverture buccale et une sédation des douleurs des articulations temporo-mandibulaires (30).

H. Les intérêts de la photobiomodulation sur les complications de la chirurgie orthognatique.

La chirurgie orthognatique est une nouvelle voie d'application de la photobiomodulation et en particulier pour son effet anti-inflammatoire. Elle est effectuée pour corriger les troubles occlusaux des patients ou améliorer un aspect inesthétique de la face tel qu'une prognathie ou rétrognathie. Réalisée en parallèle d'un traitement orthodontique, elle concerne essentiellement les jeunes adultes entre 20 et 40 ans. Différentes techniques sont décrites comme les ostéotomies sagittales (mandibule) ou les ostéotomies bi-maxillaire (maxillaire et mandibule).



Figure 7: Illustration d'une ostéotomie bimaxillaire

Les suites post-opératoires immédiates présentent plusieurs effets indésirables possibles tel que : la douleur, un œdème, un trismus, une hypoesthésie du nerf alvéolaire inférieur, une hémorragie (31).

L'œdème post-opératoire survenant après une chirurgie orthognatique dure plusieurs semaines et peut perturber le patient. La connaissance de sa décroissance par le chirurgien maxillo-facial est donc primordiale afin de rassurer ce dernier sur le rendu esthétique final. Dans l'étude de Yamamoto et al (32), les auteurs analysent l'évolution de l'œdème par l'intermédiaire d'un scanner laser portable, le scanner du 6 mois étant défini comme situation de référence. Ainsi, après une chirurgie orthognatique (ostéotomie sagittale bilatérale ou ostéotomie bi-maxillaire) l'apogée de l'œdème est retrouvé au 3ème jours post-opératoire avec une prédominance au niveau de l'angle de la mandibule. Durant la première semaine on retrouve la plus forte diminution avec une perte d'environ 33%, puis 65% à 1 mois, 84% à 2 mois, 95% à 3 mois. On peut considérer un état complètement stable vers le 5ème mois.

Il faut toutefois faire attention à un paramètre : l'indice de masse corporelle. Il a été montré par des résultats préliminaires, que les patients en surpoids présentent un œdème plus important que les autres en postopératoire mais aussi une diminution de ce dernier plus rapide (33). Cette perte est à mettre en rapport avec la perte de poids induite par l'alimentation exclusivement liquide obligatoire lors des semaines suivant l'intervention. La perte de masse graisseuse étant plus forte chez ces patients que chez des patients dont l'indice de masse corporelle est normal et par conséquent avec un plus faible pourcentage de tissus adipeux.

Actuellement, le contrôle des complications post-opératoires passe par la prescription de médicaments : les antalgiques de classe 1 ou 2, des anti-inflammatoires non stéroïdiens ou des corticoïdes et un glaçage durant les premiers jours (34). L'ajout de séances de kinésithérapie pour drainage lymphatique à la sortie des patients est aussi souvent retrouvé permettant une résorption plus rapide de l'œdème.

Il semblerait que par ces propriétés anti-inflammatoires et antalgiques, la photobiomodulation puisse apporter un avantage considérable dans le contrôle des complications post-opératoires, notamment la douleur et l'œdème, une cicatrisation plus rapide et par conséquent de meilleures suites post-opératoires pour les patients. Il existe des masques faciaux, émettant des rayonnements de lumière bleue, rouge et infra-rouge, selon les propriétés recherchées, permettant d'utiliser la photobiomodulation après des interventions chirurgicales touchant la sphère ORL.

Ils se basent sur un modèle de masque réfrigérant déjà étudié : le masque Hiloterm, qui permet une alternative au glaçage réalisé en post-opératoire par de simples poches de glaces. On peut contrôler par ce système la température exacte de l'eau circulant dans le masque et ainsi se placer dans les situations optimales (entre 13 et 15°) pour contrôler l'œdème et la douleur (35).

Le but de cette thèse est donc d'établir un protocole de photobiomodulation chez les patients traités par ostéotomie bi-maxillaire, afin de rechercher un effet anti-œdémateux sur les suites post-opératoires.

II. MATERIELS ET METHODES

Nous voulons étudier les effets de la photobiomodulation, par le biais de rayonnements rouges et infra-rouges, sur les suites post-opératoires des ostéotomie bi-maxillaire en suivant l'évolution de l'œdème.

Le protocole doit concerner des patients, âgés de 18 à 40 ans, pour lesquels une ostéotomie bi-maxillaire est prévue après un traitement orthodontique adapté. L'intervention aura lieu au sein de l'institut universitaire de la face et du coup de Nice par le même chirurgien. La technique chirurgicale devra être la même pour tous les patients et la durée de l'acte sensiblement identique.

Les patients présentant des comorbidités, des allergies aux médicaments donnés en post opératoire, subissant uniquement une chirurgie du maxillaire ou de la mandibule, dont l'avulsion des dents de sagesse n'a pas été faite en amont seront exclus. Une lésion du nerf alvéolaire inférieur lors de la chirurgie représente elle aussi un critère d'exclusion.

Pour réaliser les séances de photobiomodulation deux types de masques faciaux de la société NSK BuccoLEDs sont disponibles. Les deux dispositifs se composent d'une unité centrale, d'un masque LED permettant l'exposition du plan cutané extra-oral, un embout intrabuccal double face LED, permettant lui une exposition des muqueuses intra-orales, avec un fourreau de protection à usage unique pour chaque patient. Le premier possède en plus une tablette de commande. Plusieurs programmes sont disponibles : cicatrisation parodontale, régénération parodontale, cicatrisation post-implantaire, ostéointégration, mucosite peri-implantaire, assainissement parodontale, assainissement post détartrage et préparation détartrage. Ils utilisent soit des LED bleues d'une longueur d'onde de 469nm, des LED rouges d'une longueur d'onde de 633nm ou des LED infra-rouges d'une longueur d'onde de 850nm. Nous utiliserons ici le programme ostéointégration, fournissant des longueurs d'ondes rouges pour l'embout buccale avec une pénétration tissulaire de 6 à 8mm et infra-rouges pour le masque avec cette fois ci une pénétration de 30 à 40mm.

Le premier masque fourni recouvrait l'hémi face inférieure avec un embout intra buccal aux dimensions suivantes : longueur 70mm, largeur 40mm et épaisseur 6mm. Le fourreau de protection mesure 50 mm de large et 15mm d'épaisseur. Lors de l'utilisation de ce dernier il est mis en évidence que sa taille est trop imposante, à la fois trop large et trop long, pour permettre son utilisation en post-opératoire. En effet, malgré le retrait des fils de blocage, l'insertion et le maintien dans la bouche des patients étaient impossibles en regard du trismus présent, un des effets post-opératoires connus des chirurgies orthognatiques.



Figure 8: Première version du masque de photobiomodulation

Suite à ces constatations, les ingénieurs ont créé un deuxième masque, fonctionnant de manière identique au premier. Celui-ci recouvre l'ensemble de la face et l'embout intra-buccale a été modifié selon les premières difficultés rencontrées, il est plus étroit et plus petit permettant une meilleure utilisation : longueur 58mm (-12mm), largeur 30mm (-10mm) et épaisseur 3mm (-3mm). Le fourreau mesure cette fois 35mm de largeur (-15mm) et 11mm d'épaisseur (-4mm). La tablette de commande a cette fois disparu simplifiant l'utilisation et diminuant la durée d'installation, le choix du protocole s'effectuant directement sur l'unité centrale.



Figure 9: Deuxième version du masque de photobiomodulation

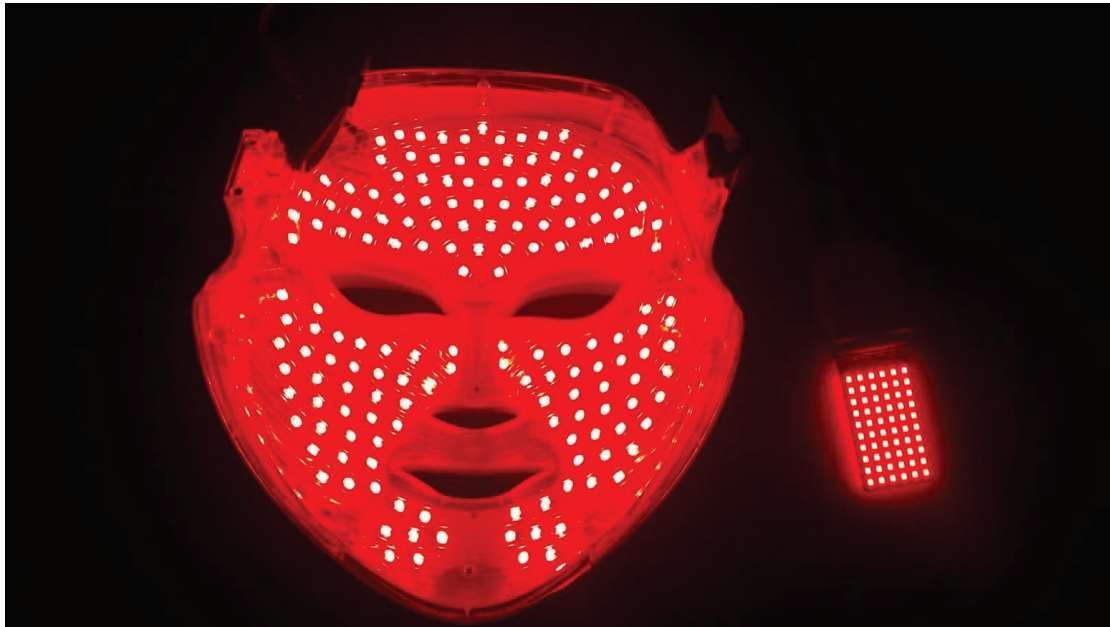


Figure 10: Versant interne et embout du deuxième masque

Le protocole de photobiomodulation, établi en amont est identique pour chaque patient (même longueur d'onde, même nombre de séances, durée d'exposition et puissance similaires). Il se compose de 4 cures de 14 minutes la première avant l'intervention, puis à J1, J2 et J3 jour de la sortie. En parallèle les patients reçoivent les traitements habituels : AUGMENTIN 1g 3/J, SOLUPRED 1mg/kg 1/J, PARACETAMOL 1g 4/J. Afin d'étudier au mieux l'effet de la photothérapie l'ordonnance de sortie ne comporte pas de séances de kinésithérapie pour drainage lymphatique.

La lumière utilisée, peu importe le programme, ne contenant pas de composante ultra-violette, ne présente à priori pas de danger nocif pour la rétine (les programmes avec la lumière bleue possèdent une longueur d'onde de 469nm alors que les ultra-violets commencent en dessous de 380nm). Toutefois, l'importante quantité de diodes à LED peut entraîner un phénomène d'éblouissement. Le port de lunettes de protection par le patient lors des séances est donc recommandé lors de l'utilisation du premier masque afin de protéger la rétine.

Avec le deuxième masque, les lunettes ne peuvent plus être mises, on retrouve à la place un système de protection autour des yeux inclus dans le masque. Les patients doivent malgré tout garder les yeux fermés durant toute la séance pour plus de sécurité.

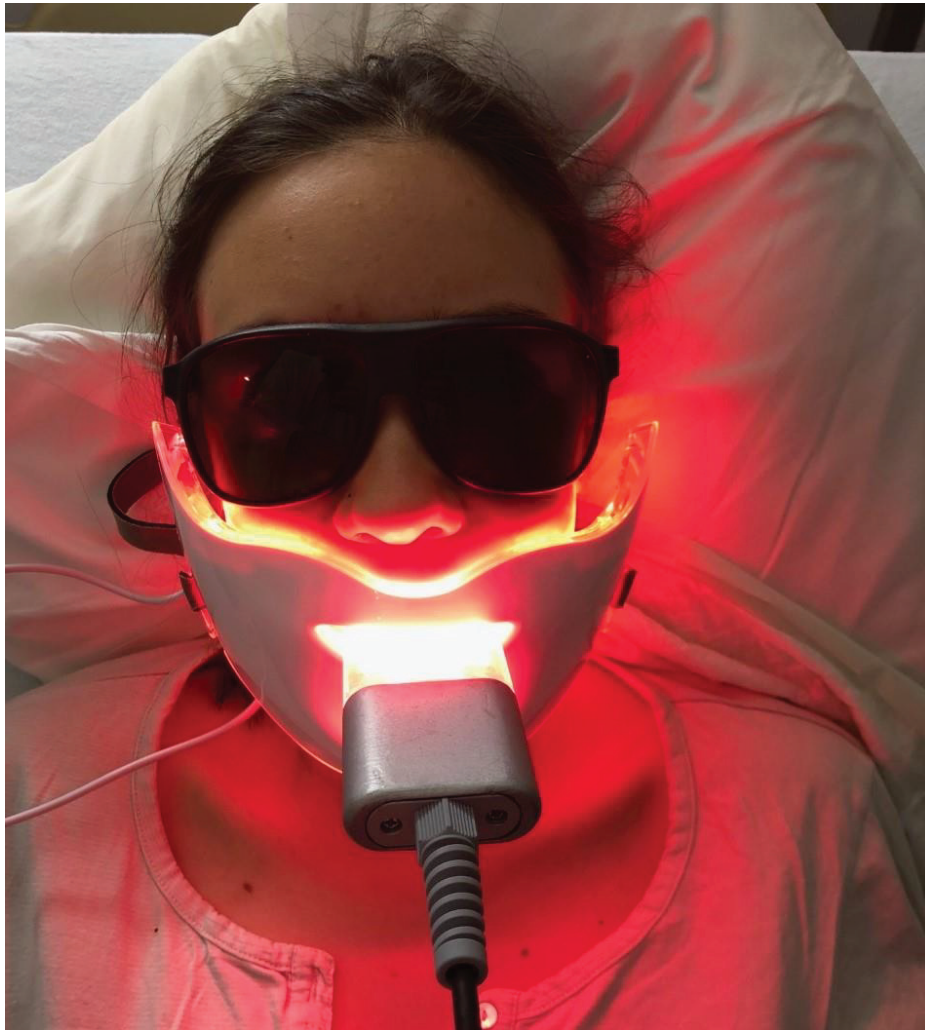


Figure 11: Utilisation du premier masque avec port des lunettes de protection

Pour étudier l'effet sur l'œdème, on utilise la photographie 3D avec l'appareil photo VECTRA H1, réalisant des clichés en préopératoire, J1, J2, J3 et J7 lors du premier rendez-vous post-opératoire.

La validation de ce système de photographie 3D a été prouvée à plusieurs reprises, notamment dans les études de Gibelli et al. Camison et al. et Savoldelli et al. (36–38). Il se compose d'un seul objectif reflex spécifique permettant la capture 3D. Du fait de cet objectif unique, la prise de trois images différentes est nécessaire pour pouvoir

reconstruire les volumes. Les patients sont positionnés debout dos au mur, regard droit devant, avec une expression neutre. La première image est prise sur le côté droit du patient, environ 45°, légèrement inclinée vers le haut pour pouvoir prendre en compte les reliefs sous mentonnier et sous nasal, avec l'aide de viseurs pour maintenir une distance stable (environ 30cm). La distance est correcte lorsque les deux points verts du viseurs convergent au niveau du milieu de la joue droite. La deuxième photo s'effectue de face avec le viseur positionné au niveau du philtrum. La troisième à l'identique de la première mais cette fois ci sur le versant gauche. Il est essentiel que le patient ne bouge pas durant la prise des trois photos.



Figure 12: Appareil photo 3D VECTRA H1



Figure 13: Technique de prise des photographies 3D avec le viseur

Une fois cette étape terminée, les images sont enregistrées et transférées sur un ordinateur contenant le logiciel VECTRA permettant de reconstituer le modèle facial en 3D. Une fois la reconstitution en 3 dimensions récupérée, une sélection de la zone à étudier est réalisée, évinçant les cheveux et tout le volume se situant derrière les oreilles, permettant de garder uniquement le visage et les reliefs cervicaux des patients. Puis par un système de points repères comme l'épicanthus interne, externe, ou tout signe spécifique et reproductible des patients (grains de beauté, cicatrice), se trouvant au dessus de la zone opérée, les photos sont alors appareillées. On peut dès lors comparer les photos post-opératoires malgré leurs reliefs différents.

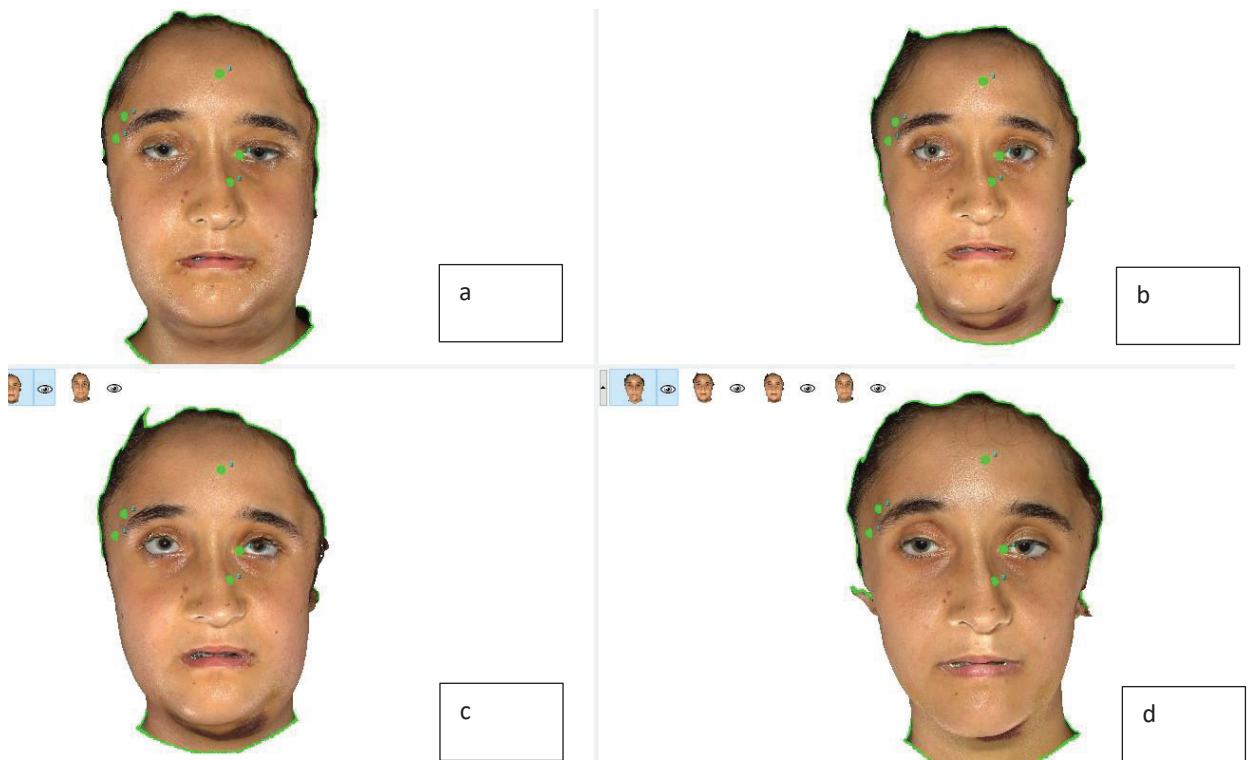


Figure 14: Mise en place des points repères

La photo préopératoire ne peut pas servir de référence puisque les reliefs osseux sont modifiés lors de la chirurgie, entraînant une modifications des tissus mous sus jacents. Les photos de J2 (Figure 14b) J3 (Figure 14c) et J7 (Figure 14d) sont superposées, respectivement, sur celle de J1 (Figure 14a). Le calcul de la différence de distance est effectué et retranscrit par un système d'iso-valeurs de couleurs, montrant l'évolution de l'œdème. La couleur bleue illustrant une augmentation de +2mm au maximum et les couleurs vertes et rouges une diminution, avec un maximum de -16mm pour le rouge. Des données comme le gain maximum de distance, la perte maximum, la moyenne et l'écart type sont affichées.

On peut aussi calculer une surface les photos étant mise en parallèle. Le logiciel nous permet de sélectionner les mêmes délimitations malgré les variations de volume. Une fois cette manœuvre réalisée on obtient les valeurs des différentes aires sélectionnées. On peut ainsi suivre d'une deuxième façon l'évolution de l'œdème.

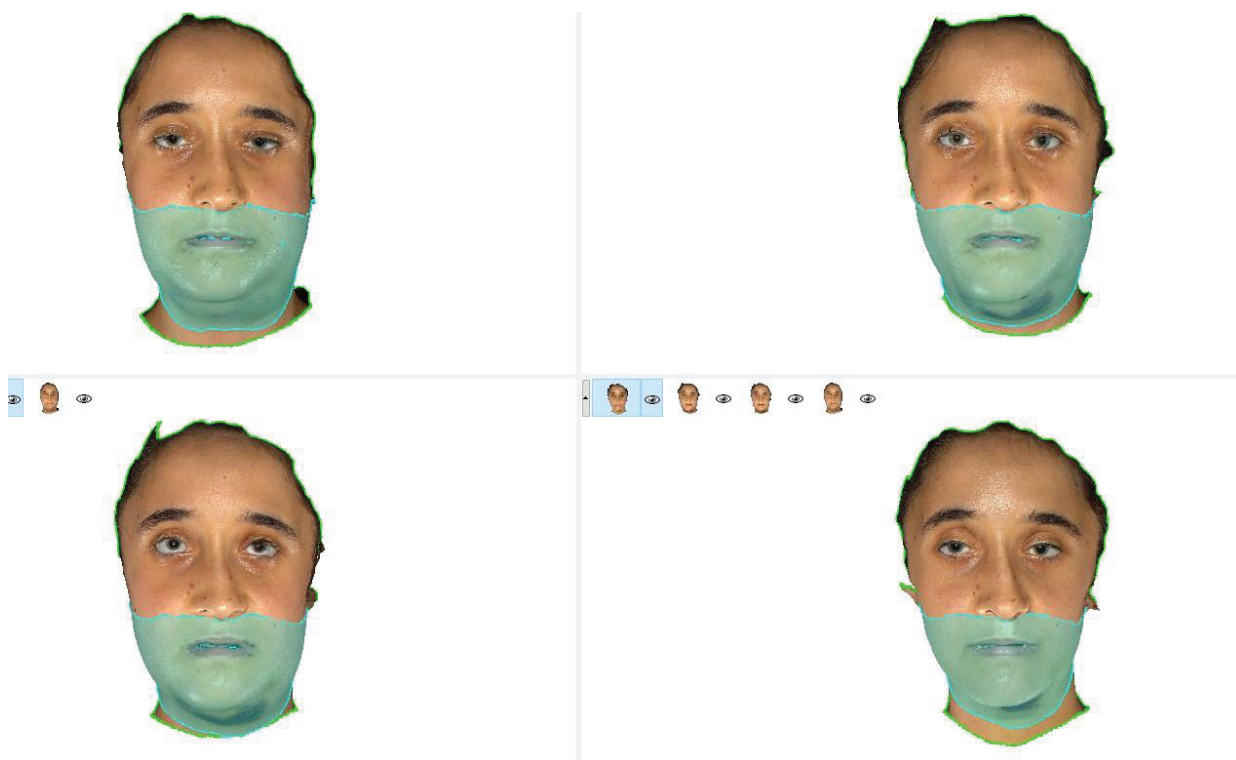


Figure 15: Sélection de la surface à étudier

III. RESULTATS

Le cas présenté est celui d'une patiente de 18 ans. Elle a subi une ostéotomie bi-maxillaire avec génioplastie à l'Institut Universitaire de la Face et du Cou de Nice par le Dr Charles Savoldelli. Elle ne présentait aucun des critères d'exclusions. Elle a suivi le protocole établi soit une séance de photobiomodulation sur le mode ostéointégration de 14 minutes en préopératoire puis à J1, J2 et J3. Le masque utilisé était le deuxième créé par les ingénieurs. Les photos ont-elles été prises à J1, J2, J3 et J7.

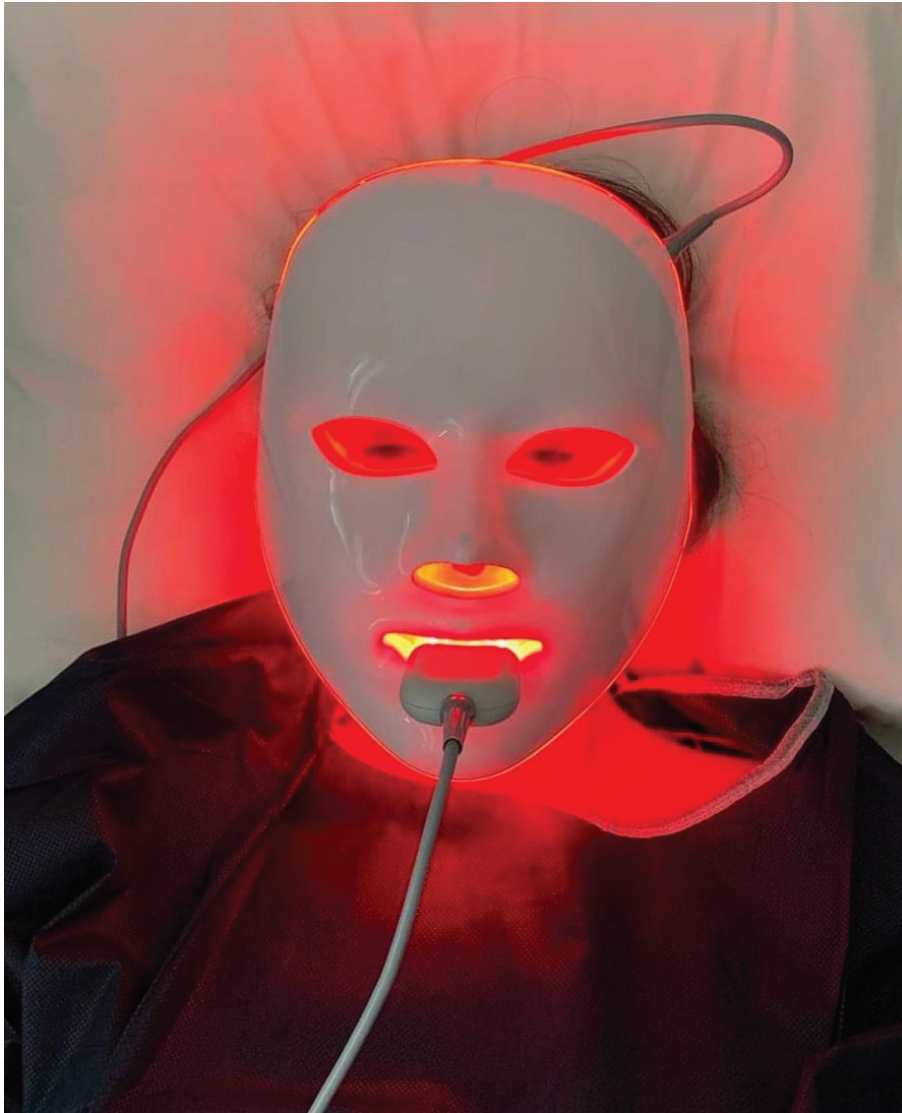


Figure 16: Utilisation du masque 2ème version



Figure 17: Reconstitution en 3D, vue de face et de profil à J1 postopératoire



Figure 18: : Reconstitution en 3D, vue de face et de profil à J2 postopératoire



Figure 19: : Reconstitution en 3D, vue de face et de profil à J3 post opératoire



Figure 20: : Reconstitution en 3D, vue de face et de profil à J7 post opératoire

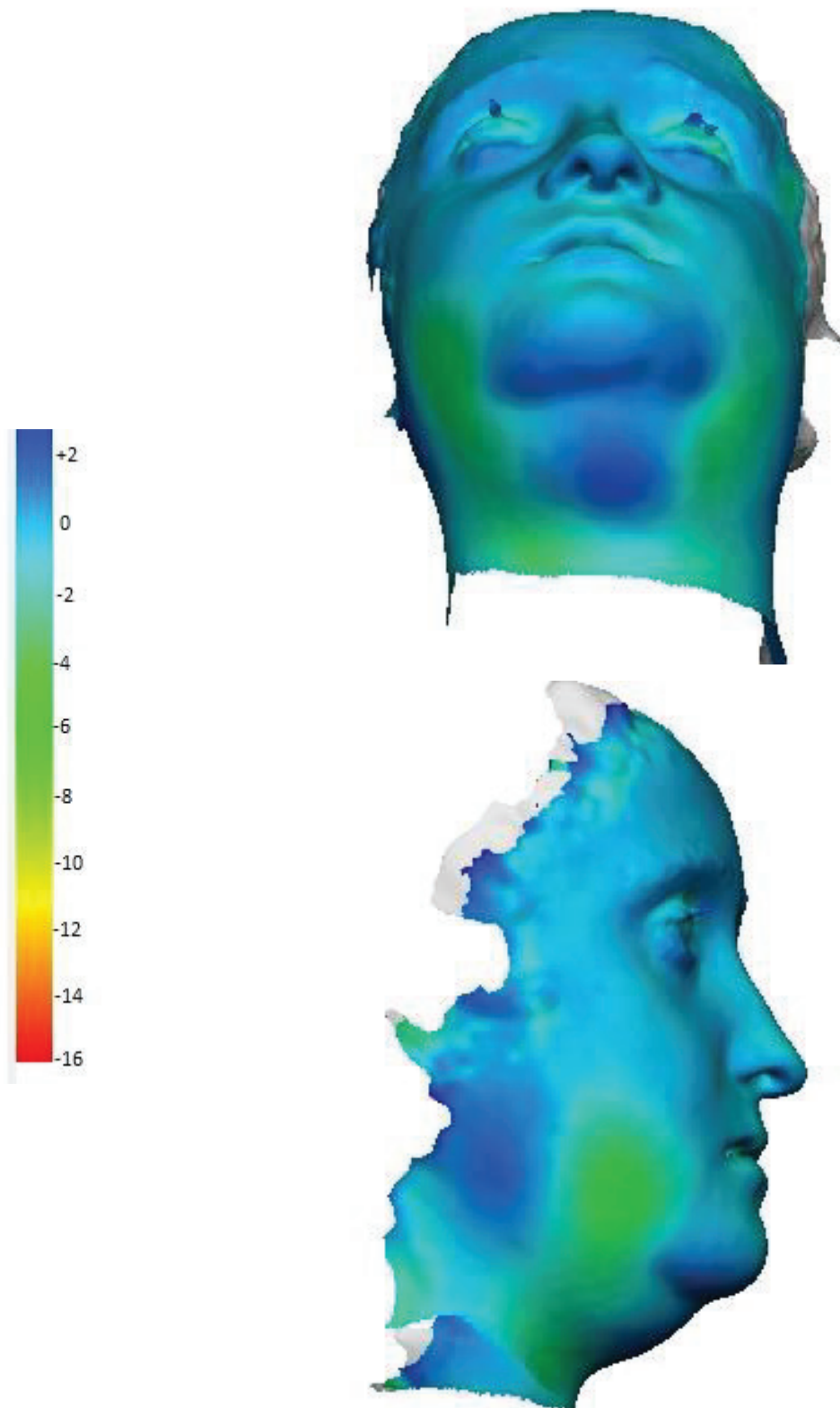


Figure 21: Comparaison de J2 par rapport à J1 (échelle en mm)

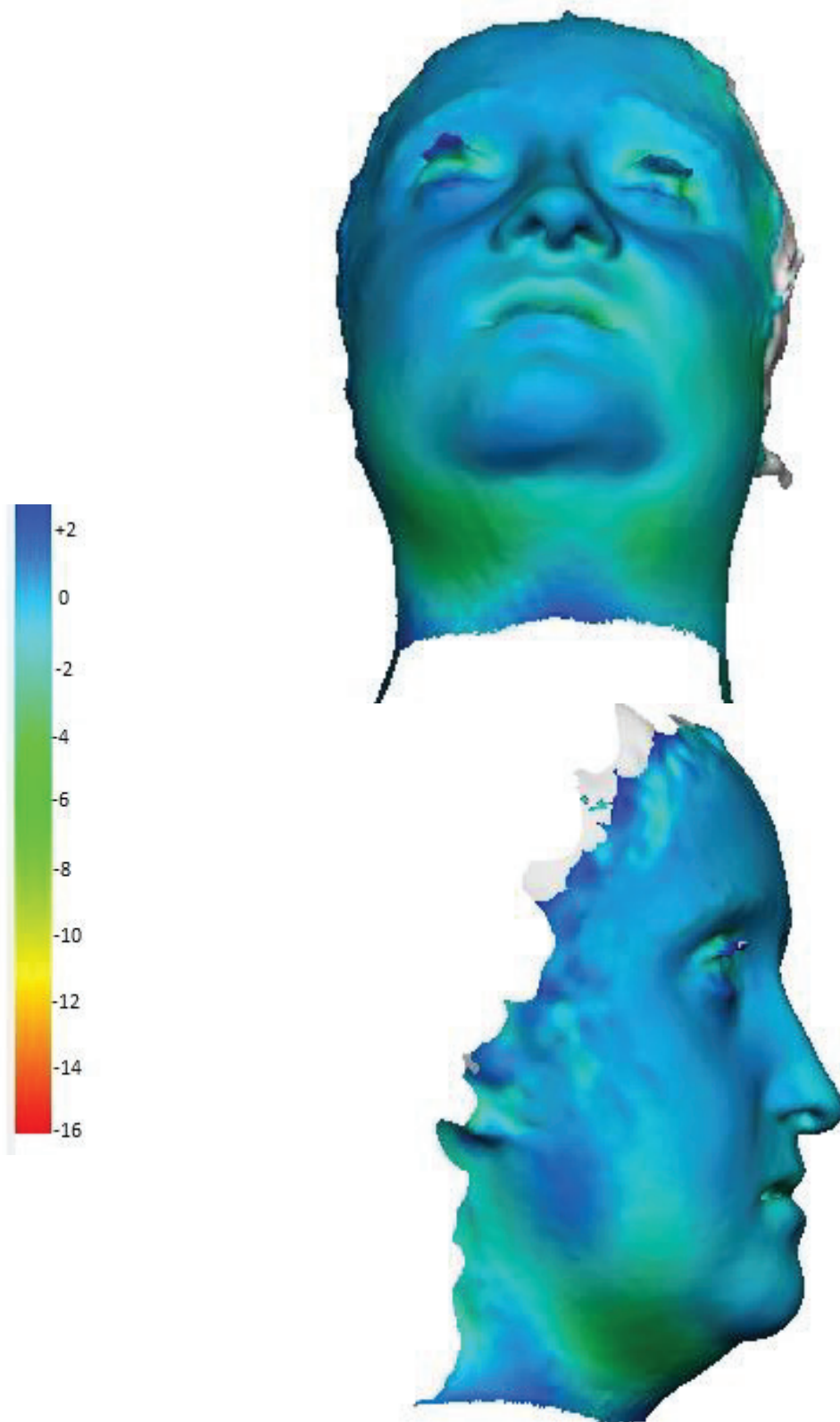


Figure 22: Comparaison de J3 par rapport à J1 (échelle en mm)

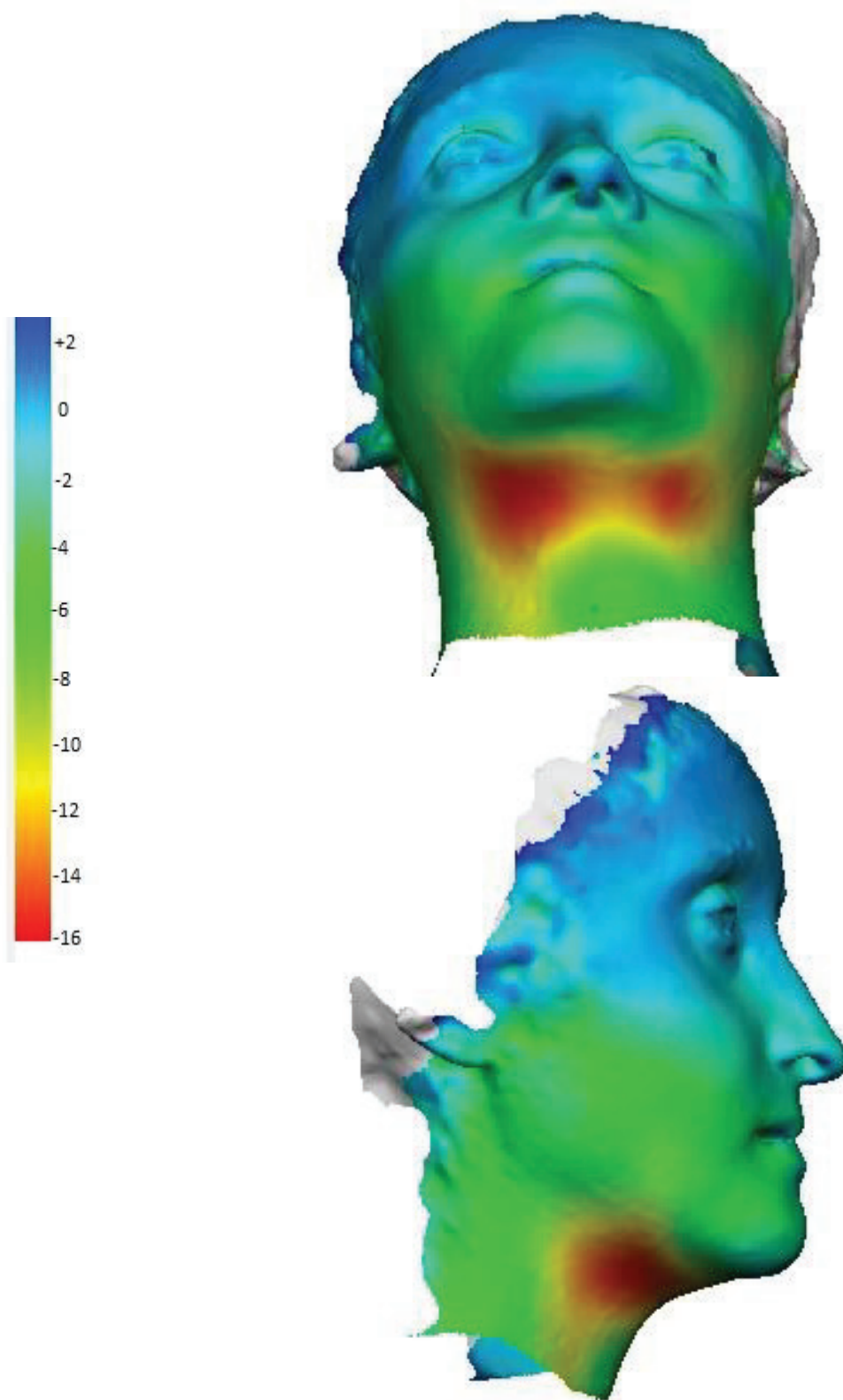


Figure 23 : Comparaison de J7 par rapport à J1 (échelle en mm)

On remarque tout d'abord sur les photos 3D, une forte diminution de l'œdème à J7. On ne constate pas de réelle différence visible entre les photos de J2 et J3.

En ce qui concerne les analyses colorimétriques par rapport à J1, on constate sans surprise que les modifications se situent au niveau de l'étage inférieur de la face et au niveau cervical puisque ce sont les zones d'intervention.

Au 2^{ème} jour post-opératoire, on retrouve une diminution de l'œdème principalement située au niveau des branches horizontales de la mandibule, se répartissant au dessus et en dessous de ces dernières. Les valeurs de ces zones varient de -4mm à -8mm. La valeur minimale est de -8 mm, la maximale +2.3mm avec une moyenne de -0.9mm et un écart type de 1.36.

Au 3^{ème} jour, la diminution de l'œdème se déplace et se situe surtout au niveau des reliefs sous mandibulaire et légèrement sous mentonnier avec des valeurs sensiblement identiques entre -4mm et -9mm. La valeur minimale est de -9mm, la maximale de +2.6mm avec une moyenne de -1.17mm et un écart type de 1.35.

Au 7^{ème} jour, l'évolution est beaucoup plus flagrante. La diminution prédomine au niveau sous mentonnier et sous les branches horizontales de la mandibule, avec une perte allant jusqu'au maximum de l'échelle colorimétrique soit 16mm. L'ensemble de l'étage inférieur de la face restant présente une diminution allant de -8 à -2mm. La valeur minimale est de -15.52, la maximale +0.4 avec une moyenne de -6.67 et un écart type de 3.44.

L'étage supérieur n'est évidemment pas modifié et l'étage moyen légèrement dans la région pré-auriculaire avec une diminution de variant de -6 à -2mm à J7. La zone du maxillaire supérieur est elle aussi modifiée à partir de J7 essentiellement, une diminution de -6 à -2mm est observée.

En ce qui concerne la mesure des surfaces des différentes reconstitutions 3D, on choisit ici de mesurer l'étage inférieur de la face puisqu'il est le siège des modifications majeures. Les différentes mesures sont :

- Aire à J1 : 209cm²
- Aire à J2 : 203.2cm²
- Aire à J3 : 201.2cm²
- Aire à J7 : 181cm²

On retrouve donc bien ce qu'illustre les photographies 3D avec un apogée de l'œdème à J1, peu de variation entre J2 et J3 mais une forte diminution à J7. Soit une perte de 2.7% à J2, de 3.7% à J3 et 13.4% à J7 par rapport à J1.

IV. DISCUSSION

Après l'analyse de ce premier cas, l'œdème semble bien contrôlé et réduit par le masque puisque l'apogée de ce dernier normalement présent au 3^{ème} jour postopératoire dans la littérature après ce type de chirurgie, est ici retrouvé au 1^{er} jour postopératoire (32,33). Effectivement dès le deuxième jour postopératoire une décroissance de ce dernier est observée en comparant l'analyse des surfaces. La croissance habituelle est donc stoppée avant, évitant ainsi un œdème trop important. Ce résultat est aussi retrouvé avec l'analyse des distances puisque que la moyenne globale est toujours en diminution du deuxième au septième jour : de -0.9mm à -6.67mm. Cette première constatation est donc en faveur d'un effet anti-inflammatoire de la photobiomodulation.

Si l'on compare la vitesse de résorption obtenue à celle de la littérature, on retrouve une grosse différence : -33% dans la littérature vs -13.4% ici au 7^{ème} jour postopératoire. Ceci s'explique par la chronologie complètement bouleversée de l'œdème. En effet, comme il augmente habituellement jusqu'au 3^{ème} jour, il atteint des valeurs beaucoup plus importantes et donc de plus grandes marges de diminution. Nous manquons de recul mais il serait nécessaire de comparer le retour à un état stable, afin de voir si ce dernier survient avant le cinquième mois retrouvée dans la littérature (32,33).

Les effets bénéfiques de cette thérapie sur les suites post-opératoires, lors de chirurgie orthognatique, ont déjà été illustrés par quelques études.

Premièrement, Pimenta D'Avila et al (39), ont étudié l'effet de la photobiomodulation sur trois facteurs : la douleur, l'œdème et les mouvements mandibulaires après une chirurgie bi maxillaire. Les 30 patients traités ont reçu un traitement par laser LED intra et extraoral avec une application par points (50 points extra oraux et 20 intra oraux). La dose délivrée était de 3J/cm², une fois par semaine sur une durée de 2 mois. Ils ont constaté une amélioration significative des mouvements mandibulaires (ouverture, latéralité, propulsion) et une différence significative sur la diminution de la douleur. Au niveau de l'œdème aucune différence significative n'est retrouvée malgré une meilleure évolution chez les patients traités. Il peut y avoir plusieurs explications à ce résultat :

- Tout d'abord un biais lors de la mesure de l'œdème : celui ci est ici calculé par des mesures céphalométriques, la somme de 3 distances (gonion/épicanthus externe, tragus et commissure labiale, tragus et pogonion). Or l'on sait que cette méthode est moins précise que les nouveaux scanners et appareils photo 3D permettant la reconstitution des volumes et le calcul des surfaces. **Plusieurs techniques permettent de mesurer la surface et les distances d'un visage.**
 - **Initialement on utilisait donc la méthode céphalométrique se basant sur des points repères comme : le pogonion, le nasion, le tragion, les commissures labiales, le canthus externe, les ailes du nez.**
 - **Avec les améliorations technologiques des dernières années, on a pu passer de la 2D à la 3D. On peut désormais utiliser des scanners laser (40). et des appareils photographiques 3D qui permettent une reconstruction du visage (33). On obtient ainsi une meilleure précision et un traitement des données plus reproductible.**

- Ensuite la dose délivrée de 3J/cm² est trop faible. D'après différentes études sur l'avulsion des dents de sagesse, aucun effet n'a été retrouvé pour des doses inférieures ou égales à 3J/cm² (41–43). Pour commencer à observer un effet anti-œdémateux il faudrait une dose délivrée supérieure, au moins 4J/cm².

- Enfin, le système d'application par stylo pointeur peut sembler moins adapté que l'utilisation d'un masque qui couvre une surface plus grande. L'œdème post ostéotomies bi-maxillaires étant diffus.

Deuxièmement, Gasperini et al (44) ont étudié l'évolution de la douleur et de l'œdème après une chirurgie bi maxillaire lors d'un traitement par photobiomodulation. Les 10 patientes ayant participées ont reçu un protocole par laser LED, intra et extraoral. Une seule hémiface a été traitée, l'autre servant de témoin. Une application par points a été réalisé à J1, J2 et J3 avec les paramètres suivants : en intra oral une longueur d'onde de 660 nm et une énergie délivrée de 5 J/cm², en extra-oral une longueur d'onde de 789 nm et une énergie délivrée de 30 J/cm². L'énergie totale par séance était de 21.6 J. A partir du 4eme jour, une séance toutes les 48h était réalisée avec une augmentation de l'intensité du protocole et plus de points d'application. L'énergie totale délivrée était de 50.4 J par session. L'œdème a été mesuré par la mesure de la distance entre la pointe du menton et le lobe inférieur de l'oreille, encore une fois méthode moins précise que l'analyse 3D actuellement disponible. La distance du 2^{ème} mois post-opératoire a été prise pour mesure de référence. Il a été retrouvé une diminution significative de la douleur à J1 et J3, à J7 plus de douleur pour les deux cotés, une diminution significative de l'œdème du coté traité à partir de J3 jusqu'à J30. L'écart de différence entre les deux cotés ayant tendance à diminuer avec le temps, notamment à partir de J15. Ceci s'explique par la diminution des marqueurs de l'inflammation et donc comme expliqué dans la première partie, une moins forte action de la photobiomodulation. On constate ici que la dose délivrée lors des séances était beaucoup plus importante que dans l'étude précédente et supérieure au seuil retrouvé de 4J/cm². Ceci conforte l'idée que l'absence d'effet anti-œdémateux de l'étude précédente peut être dû à une dose délivrée trop faible et donc un mauvais choix des paramètres du protocole.

Dans un champ plus large, il a été démontré par Markovic que l'utilisation de la photobiomodulation isolée est aussi efficace que l'association photobiomodulation et corticoïdes par voie systémique sur l'œdème lors de l'avulsion des dents de sagesse (41). Elle pourrait donc supplanter ces derniers en cas de contre-indication. En revanche une efficacité accrue a été observé lors de l'association photobiomodulation et corticoïdes locaux (4mg de dexaméthasone en intra musculaire au niveau du ptérygoïdien interne). Il

existe donc un possible effet synergique entre ces deux thérapies. Un résultat qui pourrait être extrapolable aux chirurgies orthognatique.

Peu d'études portent sur les ostéotomies bi maxillaire mais on en retrouve plusieurs sur les avulsions de dents de sagesse et les résultats sont très controversés. Cette variation de résultats s'explique en grande partie par un manque de précision dans la déclaration du protocole et une grande variabilité des différents paramètres de la photobiomodulation (45). Il est vrai qu'à ce jour, aucun dosage exact n'est recommandé en fonction des différentes utilisations, il reste à l'appréciation du soignant. Celui-ci varie donc beaucoup d'une étude à l'autre tout comme les moyens d'applications, le mode (pulse ou continu), la durée d'application, la durée de traitement. L'analyse des différents textes publiés doit donc être méticuleuse. Une absence d'effet pouvant illustrer la mise en place d'un protocole inadapté avec une dose ou une durée insuffisante.

Il est désormais nécessaire de réaliser une étude prospective randomisée, en double aveugle (un premier opérateur réalisant les différentes séances de photobiomodulation et un second analysant les données sur le logiciel), afin de mesurer les effets de la photobiomodulation. C'est pourquoi la confection d'un masque demi-fonctionnel par les ingénieurs est en cours de réalisation. Dans ce dernier, une moitié du masque seulement produira les rayonnements, l'autre moitié restant éteinte, permettant ainsi de comparer une hémiface exposée à l'autre hémiface non exposée, le patient représentant son propre témoin. Gasperini a déjà utilisé cette méthode pour étudier la cicatrisation du nerf alvéolaire inférieur, non pas avec un masque mais avec un stylo pointeur LED (29). On évite ainsi premièrement les variabilités individuelles de cicatrisation, de douleur et d'œdème et deuxièmement on peut former rapidement un échantillon important de patient renforçant la puissance de l'étude.

Au vu de tous ces éléments, on peut proposer, pour évaluer l'efficacité de la photobiomodulation sur l'œdème postopératoire lors d'une chirurgie orthognatique bi-maxillaire, le protocole suivant :

- J0 : réalisation d'une séance de photobiomodulation avec le masque demi-fonctionnel Buccoeds sur le mode ostéointégration (LED rouges d'une longueur d'onde de 633nm pour l'embout intra-buccal et LED infra-rouges d'une longueur d'onde de 850nm pour le masque, durée 14 minute sur une mode continu) une heure avant la chirurgie
- J1 : Deuxième séance de photobiomodulation avec le masque demi-fonctionnel et photographie 3D
- J2 : Troisième séance de photobiomodulation avec le masque demi-fonctionnel et photographie 3D
- J3 : Quatrième séance de photobiomodulation avec le masque demi-fonctionnel et photographie 3D
- J7 : 1^{er} rendez-vous post-opératoire, réalisation d'une photographie 3D
- J15 : 2^{ème} rendez-vous post-opératoire, réalisation d'une photographie 3D
- 3^{ème} mois : Réalisation d'une photographie 3D qui servira de référence, la situation étant considérée comme stable après cette durée, les deux cotés étant redevenus identiques.

Les différentes reconstitutions 3D seront traitées par le logiciel VECTRA, vu précédemment, et les photos de J1, J2, J3, J7 et J15 seront superposées à celle réalisée au 3^{ème} mois. On pourra ainsi suivre l'évolution de l'œdème, coté traité versus coté témoin, selon le système d'iso-valeurs de couleurs et avec la valeur moyenne de variation des distances de chaque coté. Le calcul des hemi-surfaces nous permettra aussi de comparer les deux cotés et d'analyser statistiquement les données recueillies. On pourra alors observer si une différence significative est retrouvée ou non du coté traité par la photobiomodulation.

Ce protocole devra être soumis à l'accord du comité d'éthique.

V. CONCLUSION

La mise en place de ce protocole de photobiomodulation a permis de créer un nouveau masque plus ergonomique et adapté aux contraintes (notamment le trismus) que l'on retrouve dans les jours suivants une chirurgie orthognatique. Ce deuxième masque pourrait trouver de nouvelles utilités dans la suite des interventions de chirurgie maxillo-facial ou ORL puisque sa surface de recouvrement est plus grande.

Un programme de quatre séances : une préopératoire puis à J1, J2 et J3 semble permettre un bon contrôle de l'œdème. La durée correspondant au temps d'hospitalisation des patients, il s'intègre sans difficultés dans la prise en charge actuelle.

Les premières analyses nous confortent dans l'hypothèse que la photobiomodulation apporterait une aide importante dans le contrôle de l'œdème post-opératoire et par conséquent une amélioration du bien être des patients.

Il est maintenant nécessaire de réaliser une étude prospective selon le protocole établi pour valider l'efficacité de la photobiomodulation.

VI. BIBLIOGRAPHIE

1. Mester A, Mester A. The History of Photobiomodulation: Endre Mester (1903–1984). *Photomed Laser Surg.* août 2017;35(8):393-4.
2. Anders JJ, Lanzafame RJ, Arany PR. Low-level light/laser therapy versus photobiomodulation therapy. *Photomed Laser Surg.* avr 2015;33(4):183-4.
3. Heiskanen V, Hamblin MR. Photobiomodulation: lasers light emitting diodes? *Photochem Photobiol Sci.* 2018;17(8):1003-17.
4. Rayegani SM, Raeissadat SA, Heidari S, Moradi-Joo M. Safety and Effectiveness of Low-Level Laser Therapy in Patients With Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Lasers Med Sci.* 29 août 2017;8(Suppl 1):S12-9.
5. Passarella S, Karu T. Absorption of monochromatic and narrow band radiation in the visible and near IR by both mitochondrial and non-mitochondrial photoacceptors results in photobiomodulation. *J Photochem Photobiol B.* nov 2014;140:344-58.
6. Karu TI, Kolyakov SF. Exact action spectra for cellular responses relevant to phototherapy. *Photomed Laser Surg.* août 2005;23(4):355-61.
7. Hamblin MR. Mechanisms and applications of the anti-inflammatory effects of photobiomodulation. *AIMS Biophys.* 2017;4(3):337-61.
8. Hamblin MR. Mechanisms and Mitochondrial Redox Signaling in Photobiomodulation. *Photochem Photobiol.* 2018;94(2):199-212.
9. Martins DF, Turnes BL, Cidral-Filho FJ, Bobinski F, Rosas RF, Danielski LG, et al. Light-emitting diode therapy reduces persistent inflammatory pain: Role of interleukin 10 and antioxidant enzymes. *Neuroscience.* 2 juin 2016;324:485-95.
10. Lim W, Choi H, Kim J, Kim S, Jeon S, Zheng H, et al. Anti-inflammatory effect of 635 nm irradiations on in vitro direct/indirect irradiation model. *J Oral Pathol Med Off Publ Int Assoc Oral Pathol Am Acad Oral Pathol.* févr 2015;44(2):94-102.
11. Lanzafame RJ, Stadler I, Kurtz AF, Connelly R, Peter TA, Timothy PA, et al. Reciprocity of exposure time and irradiance on energy density during photoradiation on wound healing in a murine pressure ulcer model. *Lasers Surg Med.* juill 2007;39(6):534-42.
12. Huang Y-Y, Chen AC-H, Carroll JD, Hamblin MR. Biphasic Dose Response in Low Level Light Therapy. *Dose-Response.* oct 2009;7(4):dose-response.0.
13. Takeda Y. Irradiation effect of low-energy laser on rat submandibular salivary gland. *J Oral Pathol.* févr 1988;17(2):91-4.

14. Begaj T, Schaal S. Sunlight and ultraviolet radiation-pertinent retinal implications and current management. *Surv Ophthalmol.* avr 2018;63(2):174-92.
15. Jenkins PA, Carroll JD. How to report low-level laser therapy (LLLT)/photomedicine dose and beam parameters in clinical and laboratory studies. *Photomed Laser Surg.* déc 2011;29(12):785-7.
16. Lopes NNF, Plapler H, Chavantes MC, Lalla RV, Yoshimura EM, Alves MTS. Cyclooxygenase-2 and vascular endothelial growth factor expression in 5-fluorouracil-induced oral mucositis in hamsters: evaluation of two low-intensity laser protocols. *Support Care Cancer Off J Multinatl Assoc Support Care Cancer.* nov 2009;17(11):1409-15.
17. Oron U, Yaakobi T, Oron A, Hayam G, Gepstein L, Rubin O, et al. Attenuation of infarct size in rats and dogs after myocardial infarction by low-energy laser irradiation. *Lasers Surg Med.* 2001;28(3):204-11.
18. Kreisler M, Christoffers AB, Al-Haj H, Willershausen B, d'Hoedt B. Low level 809-nm diode laser-induced in vitro stimulation of the proliferation of human gingival fibroblasts. *Lasers Surg Med.* 2002;30(5):365-9.
19. Hamblin MR, Huang Y, éditeurs. *Handbook of Photomedicine.* 1 edition. Boca Raton, FL: CRC Press; 2013. 886 p.
20. Baxter GD, Bleakley C, Glasgow P, Calderhead RG. A near-infrared LED-based rehabilitation system: initial clinical experience. *Laser Ther.* 2005;14(1):29–35.
21. Nestor M, Andriessen A, Berman B, Katz BE, Gilbert D, Goldberg DJ, et al. Photobiomodulation with non-thermal lasers: Mechanisms of action and therapeutic uses in dermatology and aesthetic medicine. *J Cosmet Laser Ther.* 19 mai 2017;19(4):190-8.
22. Avci P, Gupta A, Sadasivam M, Vecchio D, Pam Z, Pam N, et al. Low-level laser (light) therapy (LLLT) in skin: stimulating, healing, restoring. *Semin Cutan Med Surg.* mars 2013;32(1):41-52.
23. Kahraman SA. Low-level laser therapy in oral and maxillofacial surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin N Am.* mai 2004;16(2):277-88.
24. Pereira AN, Eduardo C de P, Matson E, Marques MM. Effect of low-power laser irradiation on cell growth and procollagen synthesis of cultured fibroblasts. *Lasers Surg Med.* 2002;31(4):263-7.
25. Takeda Y. Irradiation effect of low-energy laser on alveolar bone after tooth extraction. Experimental study in rats. *Int J Oral Maxillofac Surg.* déc 1988;17(6):388-91.
26. Mayer L, Gomes FV, de Oliveira MG, de Moraes JFD, Carlsson L. Peri-implant osseointegration after low-level laser therapy: micro-computed tomography and

- resonance frequency analysis in an animal model. *Lasers Med Sci.* déc 2016;31(9):1789-95.
27. Barasch A, Peterson DE, Tanzer JM, D'Ambrosio JA, Nuki K, Schubert MM, et al. Helium-neon laser effects on conditioning-induced oral mucositis in bone marrow transplantation patients. *Cancer.* 15 déc 1995;76(12):2550-6.
 28. Miloro M, Repasky M. Low-level laser effect on neurosensory recovery after sagittal ramus osteotomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* janv 2000;89(1):12-8.
 29. Gasperini G, de Siqueira ICR, Costa LR. Lower-level laser therapy improves neurosensory disorders resulting from bilateral mandibular sagittal split osteotomy: a randomized crossover clinical trial. *J Cranio-Maxillo-fac Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-fac Surg.* juill 2014;42(5):e130-133.
 30. Kulekcioglu S, Sivrioglu K, Ozcan O, Parlak M. Effectiveness of low-level laser therapy in temporomandibular disorder. *Scand J Rheumatol.* 2003;32(2):114-8.
 31. Peacock ZS, Lee CCY, Klein KP, Kaban LB. Orthognathic Surgery in Patients Over 40 Years of Age: Indications and Special Considerations. *J Oral Maxillofac Surg.* oct 2014;72(10):1995-2004.
 32. Yamamoto S, Miyachi H, Fujii H, Ochiai S, Watanabe S, Shimosato K. Intuitive Facial Imaging Method for Evaluation of Postoperative Swelling: A Combination of 3-Dimensional Computed Tomography and Laser Surface Scanning in Orthognathic Surgery. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* déc 2016;74(12):2506.e1-2506.e10.
 33. van der Vlis M, Dentino KM, Vervloet B, Padwa BL. Postoperative swelling after orthognathic surgery: a prospective volumetric analysis. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* nov 2014;72(11):2241-7.
 34. Chegini S, Dhariwal DK. Review of evidence for the use of steroids in orthognathic surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg.* mars 2012;50(2):97-101.
 35. Lateef TA, Al-Anee AM, Agha MTF. Evaluation the Efficacy of Hilotherm Cooling System in Reducing Postoperative Pain and Edema in Maxillofacial Traumatized Patients and Orthognathic Surgeries. *J Craniofac Surg.* oct 2018;29(7):e697-706.
 36. Gibelli D, Pucciarelli V, Cappella A, Dolci C, Sforza C. Are Portable Stereophotogrammetric Devices Reliable in Facial Imaging? A Validation Study of VECTRA H1 Device. *J Oral Maxillofac Surg.* août 2018;76(8):1772-84.
 37. Camison L, Bykowski M, Lee WW, Carlson JC, Roosenboom J, Goldstein JA, et al. Validation of the Vectra H1 portable three-dimensional photogrammetry system for facial imaging. *Int J Oral Maxillofac Surg.* mars 2018;47(3):403-10.

38. Savoldelli C, Benat G, Castillo L, Chamorey E, Lutz J-C. Accuracy, repeatability and reproducibility of a handheld three-dimensional facial imaging device: The Vectra H1. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 25 mars 2019;
39. D'ávila RP, Espinola LVP, de Freitas PM, Silva AC, Landes C, Luz JGC. Longitudinal evaluation of the effects of low-power laser phototherapy on mandibular movements, pain, and edema after orthognathic surgery. *J Cranio-Maxillo-fac Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-fac Surg.* mai 2019;47(5):758-65.
40. Harrison JA, Nixon MA, Fright WR, Snape L. Use of hand-held laser scanning in the assessment of facial swelling: a preliminary study. *Br J Oral Maxillofac Surg.* févr 2004;42(1):8-17.
41. Markovic A, Todorovic L. Effectiveness of dexamethasone and low-power laser in minimizing oedema after third molar surgery: a clinical trial. *Int J Oral Maxillofac Surg.* mars 2007;36(3):226-9.
42. Carrillo JS, Calatayud J, Manso FJ, Barberia E, Martinez JM, Donado M. A randomized double-blind clinical trial on the effectiveness of helium-neon laser in the prevention of pain, swelling and trismus after removal of impacted third molars. *Int Dent J.* févr 1990;40(1):31-6.
43. Roynesdal AK, Björnland T, Barkvoll P, Haanaes HR. The effect of soft-laser application on postoperative pain and swelling: A double-blind, crossover study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1 août 1993;22(4):242-5.
44. Gasperini G, Rodrigues de Siqueira IC, Rezende Costa L. Does low-level laser therapy decrease swelling and pain resulting from orthognathic surgery? *Int J Oral Maxillofac Surg.* juill 2014;43(7):868-73.
45. Reddy GK. Photobiological basis and clinical role of low-intensity lasers in biology and medicine. *J Clin Laser Med Surg.* avr 2004;22(2):141-50.

SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les 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 circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

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.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité. Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.

Xavier PAYET

**APPLICATION DE LA PHOTOBIMODULATION EN
CHIRURGIE ORTHOGNATIQUE :
MISE EN PLACE D'UN PROTOCOLE**

Thèse en chirurgie orale, Nice, 2019.

Directeur de thèse : Dr Charles SAVOLDELLI

Mots clés : Photobiomodulation, Chirurgie orthognatique, Œdème

Résumé :

La photobiomodulation correspond à une forme de photothérapie utilisant des sources de lumière non ionisantes, par laser ou LED (diodes électroluminescentes), dans le spectre visible ou infrarouge. Il existe de nombreuses applications de cette dernière en médecine et en chirurgie. L'intérêt spécifique en chirurgie du visage sur l'œdème reste encore à prouver car son application est récente et encore non évaluée. Cette thèse a pour but essentiel d'établir un protocole d'étude de l'effet anti-inflammatoire/anti-œdémateux de la photobiomodulation lors d'une chirurgie orthognatique.

Pour étudier ce dernier nous avons utilisé un masque de la société NSK Buccoleds fournissant une exposition intra-orale par rayons rouges et extra-orale par rayons infrarouges. Quatre séances de photobiomodulation étaient réalisées : 1h avant l'intervention, à J1, J2 et J3. Le suivi de l'œdème était réalisé par des photographies 3D à J1, J2, J3 et J7 avec une analyse des surfaces et des distances par un système d'iso-valeurs de couleurs.

Les premières analyses nous confortent dans l'hypothèse que la photobiomodulation apporterait une aide importante dans le contrôle de l'œdème post-opératoire.

La conception d'un masque demi-fonctionnel est en cours de réalisation pour pouvoir mener une étude prospective randomisée, selon le protocole établi, afin de valider cette méthode.