

République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement

Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad Dahlab - Blida

Faculté de médecine de Blida

Département de médecine dentaire



**Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du
Diplôme de docteur en médecine dentaire**

**LES MOYENS NON CHIRURGICAUX
D'ACCELERATION DU DEPLACEMENT
DENTAIRE**

Présenté et soutenu publiquement par:

Bessine Rania

Dliouah Rayane Soumaya

Mouhouche Wiam

Debba Mebarka

Gherdaoui Wiam

Ouelhi Rayane

Le 26 juin 2023

Jury

Dr T. BARR

Maitre-Assistant En ODF
Clinique Zabana / CHU Frantz Fanon – Blida

Président

Dr R. BENNAI

Maitre-Assistant En ODF
Clinique Zabana / CHU Frantz Fanon – Blida

Examineur

Dr S. TABBI

Maitre-Assistante En ODF
Clinique Zabana / CHU Frantz Fanon – Blida

Promotrice

ANNEE UNIVERSITAIRE 2022/2023

REMERCIEMENTS

Remerciements

*Toute notre reconnaissance et notre gratitude est à **Allah** pour nous avoir facilité et nous avoir donné la patience et le courage d'accomplir ce modeste travail.*

*Nous voudrions dans un premier temps remercier notre Promotrice **Mme. Le docteur TABBI**, pour la gentillesse et la spontanéité avec lesquelles vous avez bien voulu diriger ce travail, pour la patience, la disponibilité et surtout vos judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion. Nous avons eu le grand plaisir de travailler sous votre direction.*

Veillez, chère Maître, trouver dans ce modeste travail, l'expression de notre haute considération, de notre sincère reconnaissance et de notre profond respect.

*Nos remerciements vont aussi, tout naturellement, aux membres du jury, **Docteur BARR** et **Docteur BENNAI**, pour leur présence, pour leur lecture attentive de notre mémoire ainsi que pour les remarques qu'ils nous adresseront lors de cette soutenance afin d'améliorer notre travail.*

Et

*Enfin nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre étude et qui nous ont aidées lors de la rédaction de ce mémoire.
Nous remercions également tous les enseignants et toute l'équipe pédagogique de l'université et les intervenants responsables de notre formation, pour avoir accompagné nos travaux pratiques et théoriques.*

DEDICACES



Je dédie ce travail

*à celui qui m'a appris à donner, à celui qui, si je lui demande deux étoiles, vient à moi portant le ciel sur son dos, à celui dont je porte le nom avec fierté. J'espère que Dieu prolongera sa vie pour voir les fruits de son éducation. Aujourd'hui la récolte est venue après une longue attente, mon amour mon héros mon cher **papa**.*

*A mon ange dans la vie, ma source d'amour, de tendresse et de dévotion. Le sourire de ma vie et le secret de ma réussite. Ma précieuse, la reine de mon cœur et ma chère **Maman**. **Papa, maman**, je vous promets que je ferai tout ce qui est en mon pouvoir pour continuer ma carrière et construire ma réussite. Quels que soient les mots et les phrases que je dis, Tous les mots et les phrases que je pourrais formuler ne peuvent atteindre la reconnaissance et la gratitude que mon cœur désire exprimer.*

*A celui qui a eu le grand mérite de m'encourager, me motiver et me rassurer. À mon deuxième père, mon soutien et mon appui, mon ami, mon cher oncle **Abdullah***

*A ceux qui accompagnent encore mes études et ma formation, à ceux avec qui j'ai appris le sens de la vie, à ceux qui m'ont tenu la main dans les moments difficiles. A ceux qui ont vécu avec moi les efforts d'étudier et de veiller tard la nuit, qui m'ont été une précieuse aide dans mon cheminement mes frères, mes sœurs :
Mossab, Khobeib, Ansar, Manar, Hafidha, Assia*

*A mon cher petit frère **Aboudi** qui avec son présence je gagne une force et un amour sans limite. A nos beaux petits-enfants : **Oussama, Mohamed, Oumaima, Bilalo, Joumana, Amira, Yousef et Ayoub***

*A mes frères **Ahmed** et **Mouadh** merci pour tout.*

*A l'étreintes chaleureuses qui accueille tout un univers... celles que je pourrais appeler mères... mes chères tantes **Fatima** et **Halima**. A mon amie et ma sœur spirituelle **Sarah**.*

*A celle qui rend la vie plus belle par sa présence, à celle dont le sourire orne mon cœur... Ma sœur, que ma mère n'a pas enfantée, ma chère amie **Rayane**, et à sa famille, ma tante **Hacina** et mon oncle **Hamid**.
A ceux, avec qui, le temps est agréable, et avec leurs rires tout a un sens plus profond.. Mes chères **Wiam, Mebarqa, Houda**...*

*A mes tantes **Ima** et **Nacira** Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.*

*J'exprime ma gratitude au docteur **Guit Mustafa** et au docteur **Bouzidi Maroua** pour m'avoir accueillie dans leurs cabinets, de m'avoir aidée avec leurs précieux conseils, d'avoir généreusement partagé avec moi leurs connaissances et expériences. J'ai énormément apprécié leur bonne humeur, leur humilité, leur générosité et leur spontanéité.*

*Je tiens à exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à m'aider, à faciliter mon travail et à m'encourager : **Dr Lahrech, Soheib, Dr Fateh**.*

*A mes **grands-mères, mes oncles** et **mes tantes**. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.*

*Et aussi à **mes professeurs** du primaire, collège, lycée et d'université, dont nous avons beaucoup appris.*

Dliouah Rayane

Je dédie ce succès :

A l'homme de ma vie, mon héros et mon ange gardien pour les longues années de sacrifices et de soutien inconditionnel tout au long du chemin parcouru, pour le courage, la dignité, l'éducation qu'il m'a apporté :

mon cher père Hamid

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts: **mon adorable mère Hassina.***

Tous les mots du monde ne saurait exprimer l'immense amour que je te porte ni la profonde gratitude que je te témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que tu n'as jamais cessé de consentir pour moi.

A mon seul et meilleur frère Ahmed lamine et son épouse Nora

Qui petit à petit m'a donné les armes nécessaires pour franchir les barrières psychologiques auxquelles je me suis confrontée pendant ces six ans .Tous les jours il m'encourage à identifier mes intérêts et à me dépasser pour les atteindre .merci d'être là.

A ma sœur Hadjer et son mari Karim, ma sœur Merieme et son mari Yacine et mes neveux Acil, Jad, Haythem, Sidra, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous tous. Merci pour tous vos conseils, encouragements, soutien et aide.

A mes grands-mères, mes oncles et mes tantes ainsi que mes cousins et cousines Racha, Khouloud, Wafa, Sihem . Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A mes grands-parents et mes tantes Naima, Nacira, Nabila et mon oncles Hocine qu'ils reposent en paix et pour toutes les prières qu'ils m'ont destinées.

A ma merveilleuse amie et sœur Rayane, toi, avec qui je partage une si belle amitié depuis maintenant 6 ans. Je te remercie d'être toujours à mes côtés pour me réconforter. Je te souhaite tout ce qu'il y a de meilleur en ce monde.

A ma très chère amie Wiam , merci pour ton soutien perpétuel, merci pour ton amour généreux,

A mes amies Mebarqa, Rania, Wiam, Houda, Sihem

A tous qui ont collaboré de près ou de loin à la réalisation de ce travail, a tous ceux ou celles qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer.

Je vous dis merci du fond du cœur

Ouelhi Rayane

J'aimerais dédier cet humble et modeste travail mené avec amour à des personnes qui me sont chères :

À mon cher père.

Tu as toujours été d'un soutien incroyable pendant mon parcours sans toi je n'y serais pas arrivé. J'admire tous les sacrifices que tu as fait pour mes frères et moi afin que nous réussions dans nos domaines respectifs, j'aimerais que le monde te vois avec mes yeux pour voir ta belle âme car pour moi tu es la plus belle que je connaisse.

À ma reine

Ma lionne, prête à sacrifier sa vie pour ses enfants, Tu as été mon rocher et ma source d'inspiration sans fin. Tu m'as donné la plus belle vie parce que tu es tout simplement la plus généreuse et la plus belle. Tu es un modèle pour moi. J'aimerais devenir une femme aussi forte que toi une battante au quotidien et une mère sans pareil. Je t'aime Mama.

À mon unique et seul frère

À mon confident « AHMED » merci d'être présent je t'aimerais certainement jusqu'à la fin des siècles.

À mes amis pour la vie

Mes Princesses « Dr Imane, Ikram et Najet » avec qui j'ai mes plus beaux souvenirs d'enfance. La vie sans vous n'aurait pas été pareil. Je suis reconnaissante pour votre soutien votre amour sans faille

À la mémoire de ma grand-mère paternelle, et ma tante « Sassia »

À ma chère grand-mère Haja Mira

Mayma Merci pour ton amour.

Ma chère tante « DR REGOUBI OUAHIBA »

Souvent ils disent que la tante et une deuxième maman ma tata étais l'ami la tante la maman durant ces années je veux que tu saches que je chéris toutes les leçons de vie que tu m'as donné je ne serais Pa la ou je suis sans tes conseils

À ma famille et mes proches

À mes tentes et mes oncles, mes cousins qui ont créé autour de moi ce cocon qui à favoriser cette envie d'apprendre d'étudier et de réussite.

À mes copines

Mes très chères amies Rahil, Esma, Kaouther, Wiam, the Rayanes, je ne sais pas où ou comment je serais aujourd'hui sans votre amitiés, soutiens et surtout nos beaux et chaleureuse souvenirs ensemble merci d'être ceux sur que je peux toujours compter.

Un merci spécial à tous mes collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel.

À tous milles merci

Debba Mebarqa

Je dédie ce modeste travail

Tout d'abord, aux deux personnes les plus précieuses de ma vie, qui se sont battues pour moi, ont enduré beaucoup de la vie afin de faire de moi la personne que je suis aujourd'hui.

A ma chère maman, pour tous ses sacrifices, sa compréhension, sa patience, son soutien et ses prières tout au long de mes études.

A mon père Qui a travaillé dur pour qu'on puisse avoir la meilleure vie qui soit, toujours à l'écoute de mes pensées et mes projections vers l'avenir.

A mon frère Docteur SOUHEIB qui m'a toujours aidé et qui m'a accompagné durant mon chemin de vie et d'études, et me donner le soutien morale, je te souhaite tout le bonheur du monde.

A mes sœurs Roumaissa et Fatima Ezahra qui sont toujours là pour moi. A mon petit frère lokman aussi.

A toutes ma famille et surtout mes oncles et ma tante maternel « Nora » pour le soutien morale durant toutes mes difficiles moments d'études.

A la personne qui m'a fait connaître le vrai sens de l'amour « A ».

A mon binôme et ma copine dans la joie et la tristesse Rania Bessine, merci de m'avoir écouté à chaque fois que la vie m'a battu, merci pour le soutien morale et ta compréhension durant nos stages.

A mes amies et mes sœurs de l'université et la cité universitaire Amina, Rym, Iman.

A mes collègues dans ce travail: Rania, Wiam, Rayane, Rayane, Mebarqa.

Merci d'être à mes côtés.

Gherdaoui Wiam

A la plus belle créature que DIEU a créé sur terre, à mon père Ahmed qui peut être fière et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Merci pour les valeurs nobles, l'éducation, et le soutien permanent venu de toi Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi.

A ma source de tendresse, de patience et de générosité à ma mère ALIA , merci pour ton amour, ton soutien, tes prières pour moi, tous les sacrifices consentis et tes précieux conseils, pour ta présence dans ma vie, en espérant que tu seras toujours fière de moi.

A mon frère Youcef, en témoignage de l'attachement et de l'amour que je porte pour lui que dieu le protège pour nous.

Mon cher époux Abdallah Tu as toujours offert soutien et réconfort, Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours.

A mes chères sœurs Yasmine et Lyna qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A mon adorable petit frère Amine qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

A mon grand-père , mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A mes cousines Wafaa et besma qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant.

Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

Sans oublier mon binôme Wiam pour son soutien moral, sa patience

et sa compréhension tout au long de mes stages.

A mes collègues, c'était agréable de travailler avec vous, que dieu vous bénisse et vous aide dans votre avenir

Bessine Rania

Louange à Allah le tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attend

Je dédie ce mémoire :

A mon très cher père Saïd, Qui a été toujours pour moi un exemple du père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es.

Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension et ta confiance en moiTon soutien fut une lumière dans tout mon parcours.

A ma très chère mère Faïza, Qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, et qui as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Je vous aime et je prie Allah le tout-puissant pour qu'il vous accorde une bonne santé et une longue vie et bonheur.

A Mes sœurs Nour Elhouda, Nouha et Rahil les princesses de ma vie, Mon cher frère Aymen, Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous tous Je suis très fière d'être votre grande sœur. Je vous souhaite le meilleur chemin que le mien .Que Dieu vous garde et protège.

A Mes Oncles, Mes tantes, Mes cousins, Mes cousines et a toute la famille, Pour vos soutiens et vos encouragements permanents, Je vous adresse mes plus sincères remerciements.

A mes chères, Rayane, Rayane et Mebarqa. Merci pour votre amitié qui nous uni et les souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble. Merci de m'avoir appris le vrai sens de l'amitié. Je vous souhaite plein de bonheur et que notre amitié dure toujours

A ma chère cousine Maroua. Une sœur plus qu'une cousine, tu as été présente dans mes bons et mauvais moments. Merci pour tous tes encouragements, aide, et affection. Je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Je t'exprime à travers ce travail mes sentiments de tendresse et d'amour

A Docteur Rahil, Docteur Belhali et Docteur Zadem. Je vous remercie de m'avoir accueillie dans votre cabinet, de m'avoir aidée avec vos conseils précieux, d'avoir généreusement partagé vos savoirs et vos expériences avec moi. Et J'ai énormément apprécié votre bonne humeur contagieuse, votre générosité et votre spontanéité.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin, Sans oublier de remercier tous mes enseignants durant mon cursus d'étude qui ont fait de moi la personne que je suis aujourd'hui.

A mes collègues, et ***A tous ceux ou celles*** qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer, Je vous dis merci du fond du cœur.

Mouhouche wiam

TABLE DES MATIERES

1120001 / 1120002 / 1120003 / 1120004 / 1120005 / 1120006 / 1120007 / 1120008 / 1120009 / 1120010 / 1120011 / 1120012 / 1120013 / 1120014 / 1120015 / 1120016 / 1120017 / 1120018 / 1120019 / 1120020 / 1120021 / 1120022 / 1120023 / 1120024 / 1120025 / 1120026 / 1120027 / 1120028 / 1120029 / 1120030 / 1120031 / 1120032 / 1120033 / 1120034 / 1120035 / 1120036 / 1120037 / 1120038 / 1120039 / 1120040 / 1120041 / 1120042 / 1120043 / 1120044 / 1120045 / 1120046 / 1120047 / 1120048 / 1120049 / 1120050 / 1120051 / 1120052 / 1120053 / 1120054 / 1120055 / 1120056 / 1120057 / 1120058 / 1120059 / 1120060 / 1120061 / 1120062 / 1120063 / 1120064 / 1120065 / 1120066 / 1120067 / 1120068 / 1120069 / 1120070 / 1120071 / 1120072 / 1120073 / 1120074 / 1120075 / 1120076 / 1120077 / 1120078 / 1120079 / 1120080 / 1120081 / 1120082 / 1120083 / 1120084 / 1120085 / 1120086 / 1120087 / 1120088 / 1120089 / 1120090 / 1120091 / 1120092 / 1120093 / 1120094 / 1120095 / 1120096 / 1120097 / 1120098 / 1120099 / 1120100

REMERCIEMENT	II
DEDICACES	IV
TABLES DES MATIERES	X
LISTE DES ILLUSTRATIONS	XV
LISTE DES TABLEAUX	XVIII
LISTE DES ABREVIATIONS	XIX
LISTE DES ANNEXES	XX
RESUME	XXI

<u>INTRODUCTION</u>	2
----------------------------------	---

<u>CHAPITRE I : Généralités et rappels</u>	4
---	---

1. Odonte	5
1.1. Embryologie	5
1.2. Anatomie et histologie	6
1.2.1. L'émail	7
1.2.2. La dentine	7
1.2.3. La pulpe	7
2. Parodonte	8
2.1. Embryologie	8
2.2. Anatomie et histologie	9
2.2.1. La gencive	9
2.2.2. Le ciment	10
2.2.3. Le ligament alvéolo-dentaire	10
2.2.4. L'os alvéolaire	10
3. Les phénomènes de la croissance cranio-faciale	13
3.1. La croissance du crane	13
3.1.1. La voute crânienne	13
3.1.2. La base du crane	14

3.2. La croissance de la mandibule	14
3.2.1. Croissance remodelante	16
3.2.2. Croissance condylienne	15
3.2.3. Croissance due à l'apparition du système dentaire	16
3.3. La croissance du massif facial supérieur	16
3.4. La croissance alvéolo-dentaire	17

CHAPITRE II : Histo-physiologie du déplacement dentaire

1. Les mouvements dentaires physiologiques	19
1.1 Concept biologique	19
1.1.1 Cycle de remodelage (ARIF)	19
2. Les mouvements dentaires provoqués	20
2.1 Traitement orthodontique	20
2.1.1 Définition	20
2.1.2 Types de traitement orthodontique	21
a- Traitement amovible	21
b- Traitement multi-attache	22
2.2 Les différents types de mouvement dentaires	23
2.2.1 Translation	23
2.2.2 Rotation	23
2.2.3 Ingression / Egression	24
2.2.4 Version	25
2.2.5 Mouvement radiculaire de torque.....	25
2.3 Les Forces orthodontiques :	25
2.3.1 Définition	25
a- L'intensité	26
b- La direction	26
c- Le rapport « moment-force »	27
d- Le rythme d'application »	27
2.3.2 Types de forces	27
a- Les forces continues	27
b- Les forces discontinues	27
c- Les forces intermittentes	27

2.3.3	Les notions de la biomécanique :	27
a-	Centre de résistance	27
b-	Centre de rotation	28
c-	Moment de la force	29
d-	Moment couple	29
e-	Rapport moment / force	30
2.3.4	La force optimale en orthodontie	30
2.4	Cinétique du déplacement dentaire	30
2.4.1	Phase initiale	30
a-	Théorie de la « pression-tension »	31
b-	Théorie du « fléchissement de l'os alvéolaire »	31
2.4.2	Phase de latence	32
2.4.3	Phase de post latence	32
2.4.3.1	Perception et transformation de la force en signal biochimique	32
2.5	Les réactions tissulaires au cours du déplacement dentaire	33
2.5.1	Les effets immédiats	33
2.5.2	Les effets à court et à moyen terme	33
2.5.2.1	Coté pression	33
2.5.2.2	Coté tension	34
2.6	Les facteurs qui influencent le Traitement orthodontique	36
2.6.1	Les facteurs intrinsèques	36
2.6.1.1	Les facteurs généraux	36
a-	L'âge	36
b-	Les facteurs nutritionnels endocriniens	36
c-	La grossesse	38
2.6.1.2	Les facteurs locaux	38
a-	La dent	38
b-	L'os alvéolaire	39
c-	Le desmodonte	39
d-	Le tissu ostéoïde	39
e-	Le site de déplacement	39

2.6.2	Les facteurs extrinsèques	40
2.6.2.1	L'intensité de la force	40
2.6.2.2	Le rythme d'application	40
2.6.2.3	La direction de l'application de la force	41
2.7	Les lésions consécutives aux forces orthodontiques iatrogènes	41
2.7.1	Les résorptions radiculaires	41
2.7.2	Les lésions pulpaires	42
2.7.3	Les lésions parodontales	42
2.7.3.1	Les gingivites d'origine orthodontique	42
2.7.3.2	Les récessions gingivales	43
2.7.3.3	Les fenestrations	43
2.7.3.4	Les fissures ou fentes gingivales	43
2.7.3.5	Les pertes d'attaches épithéliales et d'os marginal	43

CHAPITRE III :Les moyens d'accélération du Traitement Orthodontique 44

1.	Les techniques chirurgicales	45
1.1	Techniques invasives	45
1.1.1	Le phénomène d'accélération régionale (PAR)	45
1.1.2	La corticotomie alvéolaire	45
1.1.3	La distraction alvéolo-dentaire	47
1.1.4	La discision	47
1.2	Techniques minimalement invasives	49
1.2.1	La piézocision	49
1.2.2	La corticision	50
1.2.3	Les micro-ostéoperforations	51
2.	Les techniques non chirurgicales	52
2.1	Les stimuli physiques	52
2.1.1	Le laser (LLLT :low level laser therapy)	52
2.1.2	Les vibrations	57
2.1.3	Le champ électromagnétique pulsé	60
2.1.4	La photothérapie	61

2.2 Les stimuli chimiques	64
2.2.1 Systémiques	64
a- Hormone parathyroïdienne	64
b- Vitamine D	66
c- Les corticostéroïdes	68
2.2.2 Locales	70
a- Prostaglandine	70
b- Ligand RANKL	71
c- Injection de relaxine	73
d- Ostéocalcine	74
e- Oxyde nitrique	75
f- Plasma riche en plaquettes	79
3. Les moyens biomécaniques	82
3.1 Fast braces	82
3.2 Boitiers auto-ligaturants	85
3.3 Les aligneurs	86
<u>CHAPITRE IV : Les cas cliniques</u>	88
1. Cas clinique n°01: «Orthopulse®»	89
2. Cas clinique n°02: «AcceleDent » DR SHARON	90
3. Cas clinique n°03 : « SLB » orthotown.com	92
4. Cas clinique n°04: PRP (APOS) Asian Pacific orthodontics Society	93
5. Cas clinique n°05 : « Fast braces »	95
<u>CONCLUSION</u>	98
Annexes	99
Bibliographie	102

LISTE DES FIGURES

<u>Figure 1</u> : Le stade de bourgeon dentaire. (37)	05
<u>Figure 2</u> : Le stade de la cloche dentaire. (37)	06
<u>Figure 3</u> : Coupe mésio-distale d'une molaire montrant les différents tissus constitutifs d'une dent. (102)	06
<u>Figure 4</u> : La périphérie de la pulpe. (102)	07
<u>Figure 5</u> : Les quatre composantes du parodonte. (15)	08
<u>Figure 6</u> : Développement du parodonte. (15)	09
<u>Figure 7</u> : Aspect clinique de la gencive saine chez l'adulte jeune. (15)	09
<u>Figure 8</u> : Aspect anatomique de l'os alvéolaire. (12)	12
<u>Figure 9</u> : Phases du remodelage osseux. (15)	12
<u>Figure 10</u> : La voûte du crâne. (5)	13
<u>Figure 11</u> : La base du crâne. (39)	14
<u>Figure 12</u> : La croissance horizontale de la mandibule. (66)	15
<u>Figure 13</u> : Répartition des zones d'apposition et de résorption au niveau de la mandibule. (66) ..	15
<u>Figure 14</u> : L'os maxillaire. (61)	16
<u>Figure 15</u> : Cycle ARIF.	20
<u>Figure 16</u> : Appareils amovibles (101).....	21
<u>Figure 17</u> : Traitement multi-attache. (14)	22
<u>Figure 18</u> : Translation d'une incisive centrale. (48)	23
<u>Figure 19</u> : Rotation Pure. (48)	23
<u>Figure 20</u> : Ingression d'une incisive. (48)	24
<u>Figure 21</u> : Egression d'une incisive.(48)	24
<u>Figure 22</u> : Torque (14).....	25
<u>Figure 23</u> : Force verticale. (13)	26
<u>Figure 24</u> : Position du centre de résistance sous différents angles de vue. (48)	28

<u>Figure 25</u> : Méthode pour localiser le centre de rotation. (48)	29
<u>Figure 26</u> : Couple de la force. (48)	29
<u>Figure 27</u> : Modifications histologiques au niveau d'une zone comprimée. (13)	35
<u>Figure 28</u> : Schéma du remaniement tissulaire. (21)	35
<u>Figure 29</u> : Caractéristiques radiculaires influençant la vitesse de déplacement. (55)	39
<u>Figure 30</u> : Les types de force. (85)	41
<u>Figure 31</u> : Résorptions radiculaires au cours d'un traitement orthodontique. (55)	42
<u>Figure 32</u> : Gingivite d'origine orthodontique. (12)	42
<u>Figure 33</u> : Corticotomie alvéolaire conventionnelle. (47)	46
<u>Figure 34</u> : Le distracteur mis en place. (78)	47
<u>Figure 35</u> : Le distracteur. (78)	47
<u>Figure 36</u> : La discision. (70)	48
<u>Figure 37</u> : Un exemple de bistouri ultrasonore : Le Piézetome. (82)	49
<u>Figure 38</u> : La chirurgie de piézocision. (19)	50
<u>Figure 39</u> : L'incision à l'aide du scalpel. (91)	51
<u>Figure 40</u> : Exellerator RT (propel ,ormco , Calif)(18).....	51
<u>Figure 41</u> : Application du Laser (44)	52
<u>Figure 42</u> : Comparaison du mouvement et de la vitesse avec et sans traitement au laser.(56) 55	
<u>Figure 43</u> : AcceleDent®.....	57
<u>Figure 44</u> : Champ électromagnétique pulsé. (72)	60
<u>Figure 45</u> : L'enzyme Cytochrome C oxydase produit de l'ATP. (24)	62
<u>Figure 46</u> : OrthoPulse. (95)	63
<u>Figure 47</u> : Formule moléculaire de parathormone.....	64
<u>Figure 48</u> : Rôle des PTH dans le déplacement dentaire. (81)	65
<u>Figure 49</u> : La différenciation ostéoclastique et le RANKL. (12)	71
<u>Figure 50</u> : Mode d'action de RANKL. (84)	72
<u>Figure 51</u> : Formule moléculaire de Relaxine	73

<u>Figure 52</u> : Biosynthèse et actions du NO. (4)	76
<u>Figure 53</u> : Représentation schématique du remodelage osseux et de la régulation du NO pendant le mouvement orthodontique des dents du côté de la compression et de la tension. (96)	77
<u>Figure 54</u> : Courbes temps-mouvement orthodontique des dents pour quatre groupes d'études. (69)	78
<u>Figure 55</u> : Courbes de déplacement des dents de deux groupes. (3)	80
<u>Figure 56</u> : Bracket FASTBRACES. (30)	82
<u>Figure 57</u> : Comparaison entre brackets classiques et brackets FASTBRACES (16)	83
<u>Figure 58</u> : Cas de traitement ave fastbraces en 117 jours. (8)	84
<u>Figure 59</u> : Différents types de boitiers autoligaturants. (42)	85
<u>Figure 60</u> : Orthopulse. (25)	89
<u>Figure 61</u> : Avant le traitement (patient traité par l'orthopulse). (25)	89
<u>Figure 62</u> : Patient après 39 semaines de traitement. (25)	90
<u>Figure 63</u> : Acceldent. (73)	90
<u>Figure 64</u> : Avant le début de traitement (patient traité par l'Acceledent). (73)	91
<u>Figure 65</u> : Suivi du traitement après 4 mois. (73)	91
<u>Figure 66</u> : Fin du traitement après 12mois et demi. (73)	91
<u>Figure 67</u> : Téléradiographie. (32).....	92
<u>Figure 68</u> : Avant le début du traitement (patient traité par des boitiers auto-ligaturants). (32)	92
<u>Figure 69</u> : 16 semaines après le début du traitement. (32)	93
<u>Figure 70</u> : 15 mois après le début du traitement. (32)	93
<u>Figure 71</u> : Injection sou-muqueuse de PRP. (49)	93
<u>Figure72</u> : L'application de PRP pour accélérer l'alignement de l'encombrement antérieure et la fermeture de l'espace dans un cas traité avec extraction de prémolaires supérieure et inférieure. (49)	94
<u>Figure 73</u> : Avant le traitement (vue intra-orale et occlusale). (9).....	95
<u>Figure 74</u> : Radiographie peropératoire. (9)	95
<u>Figure 75</u> : La progression du traitement. (9)	96
<u>Figure 76</u> : Fin du traitement. (9)	96

LISTE DES TABLEAUX

© 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100

<u>Tableau 1</u> : Tableau récapitulatif sur les effets des facteurs systémiques sur le tissu osseux. (10)	38
<u>Tableau 2</u> : Taux de rétraction canine entre le groupe A et le groupe B. (40)	56
<u>Tableau 3</u> : Nombre d'aligneurs, intervalle entre les aligneurs, nombre de jours de traitement et valeur P pour les groupes témoin et HFV. (94)	58
<u>Tableau 4</u> : Tableau comparatif entre thérapeutique avec brackets conventionnels et brackets FASTBRACES®. (16)	83
<u>Tableau 5</u> : Comparaison du temps de traitement entre boîtiers Twins et auto-ligaturants. (62)	86
<u>Tableau 6</u> : Comparaison entre les aligneurs et les boîtiers conventionnels. (35)	87

LISTE DES ABREVIATIONS

ARIF : activation /résorption/inversion/formation

Cr : centre de résistance

Co : centre de rotation

COX : Cytochrome C oxydase

DAD : Distraction alvéolo-dentaire

FEO : forces extra orales

GMPc : la guanosine mono phosphate cyclique

L-arg : l-arginine

Laser : lumière par émission stimulée de rayonnement

LED: light emitting diodes

LIPUS: low- intensity pulsed ultrasound

LLLT: Low Level light Therapy

L-NAME: nitro-L-arginine methyl ester

MDP : mouvement dentaire provoqué

MOASOP: Mouvement orthodontique accéléré par stimulation ostéogénique du parodonte

MOP : Micro-ostéoperforation

NO : oxyde nitrique

NOS : no synthase (enzyme)

OC : osteocalcine

OPG : ostéoprotégerine

OTM: orthodontic tooth movement

PAOO: periodontally accelerated osteogenic orthodontics

PAR : phénomène d'accélération régionale

PBM : photobiomodulation

PDL : ligament parodontal

PRP : plasma riche en plaquette

PTH : hormone parathyroïdienne

RANKL : l'activateur du récepteur du ligand nucléaire K

TNF: facteur de nécrose tumorale

LISTE DES ANNEXES

⚡

Annexe 01 : Tableau récapitulatif des stimuli physiques 99

Annexe 02 : Tableau récapitulatif des stimuli chimiques100

Résumé

Les traitements orthodontiques visent à améliorer l'aspect esthétique et la fonction dentofaciale, nécessitant souvent une longue durée de traitement pour obtenir des résultats optimaux ce qui peut entraîner des complications dentaires et une diminution de la motivation et de la coopération du patient.

Après avoir décrit en détail les mécanismes cellulaires impliqués dans le déplacement dentaire, ce travail ciblera les différentes interventions actuelles qui accélèrent le traitement orthodontique. Le désir des orthodontistes d'accélérer le traitement naît de leur volonté d'éviter les effets indésirables, de répondre à la demande des patients de bénéficier d'un traitement le plus court possible sans concession sur la qualité de celui-ci.

Il existe différents types de techniques accélératrices : les techniques chirurgicales et les techniques non chirurgicales (l'injection de stimuli chimiques, et les interventions physiques). Actuellement, La technique non chirurgicale est considérée comme une option thérapeutique intéressante pour diminuer la durée de traitement et éviter la complexité et les douleurs post opératoires de la technique chirurgicale.

Les connaissances de plus en plus précises sur les phénomènes moléculaires lors du déplacement dentaire permettent une recherche plus élargie sur le sujet ce qui doit continuer pour pouvoir déterminer l'efficacité et le confort clinique de ces techniques.

Les mots clés :

Le traitement orthodontique, la technique non chirurgicale, accélération de traitement déplacement dentaire, mécanisme cellulaire

ملخص:

تهدف علاجات تقويم الأسنان إلى تحسين المظهر الجمالي والوظيفي للوجه ، وغالبًا ما تتطلب فترة علاج طويلة للحصول على أفضل النتائج ، مما قد يؤدي إلى مضاعفات الأسنان وتقليل تحفيز المريض وتعاونهم.

بعد وصف الآليات الخلوية المتضمنة في حركة الأسنان بالتفصيل ، سيقوم هذا العمل بمراجعة التدخلات الحالية المختلفة التي تسرع علاج تقويم الأسنان .

تتبع رغبة أخصائيو تقويم الأسنان في تسريع العلاج من رغبتهم في تجنب الآثار الضارة ، والاستجابة لطلب المرضى بأقصر علاج ممكن دون المساس بجودته . هناك أنواع مختلفة من تقنيات التسريع: التقنيات الجراحية والتقنيات غير الجراحية (حقن المحفزات الكيميائية ، والتدخلات الفيزيائية) . حاليًا ، تعتبر التقنية غير الجراحية خيارًا علاجيًا مثيرًا للاهتمام لتقليل مدة العلاج وتجنب التعقيد وآلام ما بعد الجراحة من التقنية الجراحية.

المزيد والمزيد من المعرفة الدقيقة حول الظواهر الجزيئية أثناء إراحة الأسنان تسمح بإجراء بحث أوسع حول الموضوع الذي يجب أن يستمر في تحديد الفعالية والراحة السريرية لهذه التقنيات.

الكلمات المفتاحية:

علاج تقويم الأسنان ، تقنية غير جراحية ، تسريع علاج إراحة الأسنان، الآليات الخلوية

Abstract

Orthodontic treatment aims to improve esthetic appearance and dentofacial function. Longer treatment times are often required to achieve optimal results, which can lead to dental complications and reduce patient motivation and cooperation. After detailing the cellular mechanisms involved in tooth movement, this work examines various current interventions to accelerate orthodontic treatment. The orthodontist's desire to speed up treatment to avoid side effects and reduce the number of visits of patients. There are different types of accelerating techniques: surgical techniques and non-surgical techniques (injection of chemical stimulation and physical intervention). Currently, non-surgical techniques are seen as an interesting treatment option that reduces treatment time and avoids the complex postoperative pain associated with surgical techniques.

Non-surgical techniques are considered an interesting treatment option to shorten treatment time and avoid the complications and postoperative pain of surgical techniques. An increasingly precise understanding of the molecular phenomena involved in tooth displacement allows for broader research on the topic, which must continue to be able to determine the effectiveness and clinical comfort of these techniques

Keywords: Orthodontic treatment, non-surgical technique, acceleration of dental displacement treatment , cellular mechanism

INTRODUCTION



Le traitement orthodontique de nos jours nécessite de répondre aux exigences de création d'une harmonie fonctionnelle en occlusion et améliorer l'aspect esthétique.

La durée moyenne de ce traitement est d'environ 2ans, cette durée est une des plaintes principales des patients en pratique orthodontique, en particulier chez les patients adultes. Celle-ci serait d'ailleurs un motif fréquent de refus de traitement chez ces patients. De plus il semblerait que plus la durée est importante plus la probabilité que les complications dentaires (caries dentaires (white spot), maladies parodontales, résorptions radiculaires...) intervient est importante et plus la compliance des patients tend à diminuer.

L'accélération de la vitesse du déplacement dentaire permettrait de faciliter l'acceptation de ce traitement et diminuer l'apparition de ses effets indésirables, de répondre à la demande esthétique, et d'éviter les abandons en cours de traitement.

Les publications concernant les méthodes d'accélération du déplacement dentaire sont en nette augmentation ces dernières années, A ce titre, différentes approches d'accélération du déplacement dentaire chirurgicales et non chirurgicales ont été proposées :

1- Une approche utilisant des dispositifs physiques tels que les vibrations cycliques, les forces électromagnétique.

2- Une approche mécanique grâce à l'amélioration des propriétés des biomatériaux (ligatures, systèmes auto- ligaturants...)

3- Une approche Pharmacologique.

4- Une approche chirurgicale avec des moyens tels que la corticotomie, la distraction alvéolo-dentaire...

Actuellement, La technique non chirurgicale est considérée comme une option thérapeutique intéressante pour diminuer la durée de traitement et éviter la complexité et les douleurs post opératoires de la technique chirurgicale. Nous avons donc choisi de dresser un panorama sur ces techniques et de décrire pour chacune d'elles leurs indications et leur mise en œuvre clinique.

INTRODUCTION

Alors notre travail sera constitué de trois parties, La première partie nous permettra d'effectuer une synthèse des données concernant les mécanismes de déplacement et la biomécanique dentaire. La deuxième partie tourne autour des facteurs qui influencent le traitement et les techniques d'accélération, et nous illustrerons en dernière partie ce travail par la présentation de quelques cas cliniques.

CHAPITRE I

GENERALITES ET RAPPELS

1. Odonte :

1.1. Embryologie : (37) (68)

O dontogenèse débute pendant les premiers stades du développement cranio-facial, elle est indissociable de l'embryologie céphalique, puisque les cellules des crêtes neurales y jouent un rôle inducteur comme dans toute cette région. Chaque dent est l'aboutissement d'inter actions cellulaires entre les cellules de l'épithélium oral du premier arc et les cellules des crêtes neurales. Plusieurs stades sont distingués.

- Les lames primitives sont des épaissements épithéliaux de l'ectoderme du stomodeum qui s'enfoncent dans l'ectomésenchyme pour constituer un mur cellulaire plongeant. Les cellules des crêtes neurales s'organisent autour de ce mur. À son versant interne se forme une expansion épithéliale interne dans l'ectomésenchyme : c'est la lame dentaire au sein de laquelle des renflements épithéliaux apparaissent, les futurs bourgeons,

- Les bourgeons ou ébauches dentaires : les renflements épithéliaux s'individualisent et s'organisent. Chaque bourgeon comporte une composante épithéliale et une composante ectomésenchymateuse, avec une limitante mésenchymateuse, futur sac dentaire.

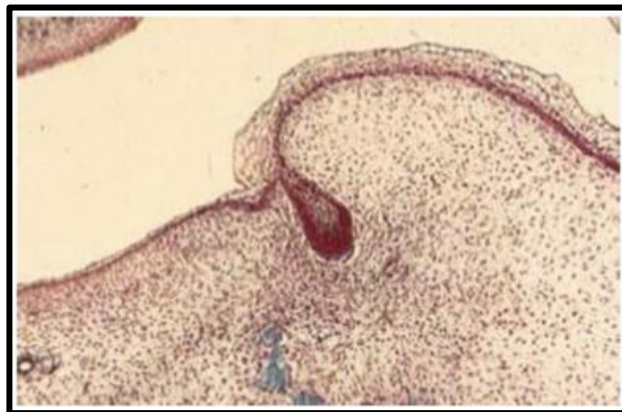


Figure 1 : Le stade de bourgeon dentaire (37)

- Stade de la cupule avec deux couches cellulaires dont l'interne qui va former l'épithélium adamantin interne. La présence des cellules de crêtes neurales est indispensable pour ces différenciations cellulaires de l'épithélium buccal.

- L'organe en cloche correspond à la différenciation morphologique de la couronne de la dent en fonction de la zone de l'épithélium buccal considéré (antérieur : région incisive ; postérieur : région molaire). L'ectoderme du premier arc est le seul à avoir cette action inductrice.

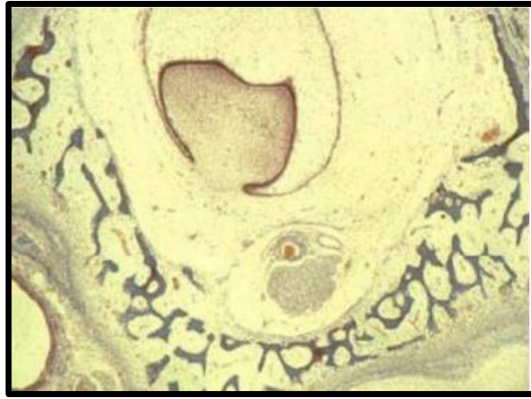


Figure 2 : Le stade de la cloche dentaire (37)

- La formation des racines commence au niveau de la zone de réflexion entre l'épithélium adamantin interne et externe (futur collet de la dent). Cette zone s'enfonce dans le mésenchyme recouvert par la papille. Les odontoblastes à ce niveau élaborent la dentine radriculaire. La formation d'émail est alors déjà terminée. Cette morphogenèse est tardive et se termine pour chaque dent après son éruption. La formation du cément et du desmodonte se fait au contact de la dentine radriculaire à partir de fibroblastes.

1.2. Histologie et Anatomie : (89)

Anatomiquement, la dent est composée de deux parties distinctes : la couronne, recouverte d'émail et la(les) racine(s) recouverte(s) de cément. La jonction amélo-cémentaire sépare ces deux parties et constitue le collet anatomique de la dent. La couronne émerge dans la cavité buccale, tandis que la racine assure l'ancrage dans l'os alvéolaire.

Histologiquement et anatomiquement, l'organe dentaire est constitué de dentine, d'émail, de pulpe et de cément. L'émail et la dentine, principalement inorganiques ou calcifiés, entourent le tissu pulpaire, non calcifié, qui contient les structures vasculaires et nerveuses.

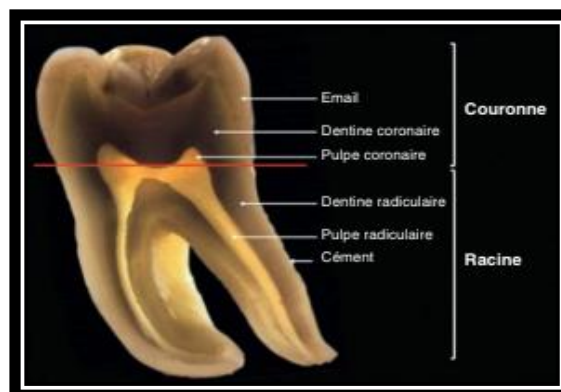


Figure 3 : Coupe mésio-distale d'une molaire montrant les différents tissus constitutifs d'une dent. (89)

1.2.1. Émail :

L'émail est une substance blanche qui recouvre la dentine au niveau de la couronne. Il est acellulaire, ce n'est donc pas un véritable tissu. Hautement minéralisé, l'émail est la substance la plus dure de l'organisme humain. Il est constitué à 95 % d'une partie minérale comprenant essentiellement de l'hydroxyapatite de calcium, à 1 % d'une phase organique (protéines, protéoglycanes, lipides, citrates) et à 4 % d'eau.

1.2.2. Dentine :

La dentine est un tissu jaunâtre et dur. Elle constitue le corps de la couronne et de la racine. Elle est composée de 50 % d'hydroxyapatites, de 27 % de protéines et de 23 % de fluides. Ces éléments s'organisent sous forme de canalicules. Les odontoblastes sont des cellules hautement différenciées, responsables de l'élaboration de la dentine. Leurs corps cellulaires sont disposés en palissade à la périphérie pulpaire et leurs prolongements cytoplasmiques s'étendent à l'intérieur des canalicules dentinaires.

La dentine primaire est mise en place lors de l'organogenèse. La dentine secondaire est élaborée par les odontoblastes de manière continue et lente, dans des conditions physiologiques et tout au long de la vie de la dent sur l'arcade.

1.2.3. Pulpe :

La dentine contient une cavité centrale occupée par la pulpe qui est scindée en une partie coronaire, la chambre pulpaire, et une partie radiculaire, les canaux pulpaire. La pulpe est un tissu conjonctif spécialisé qui assure des fonctions nutritives, sensorielles et de défense de l'organe dentaire. Le réseau vasculaire de la pulpe est très abondant. Une ou deux artérioles pénètrent dans le canal par l'orifice apical situé à l'extrémité de la racine et se ramifient pour se distribuer à la zone sous-odontoblastique.

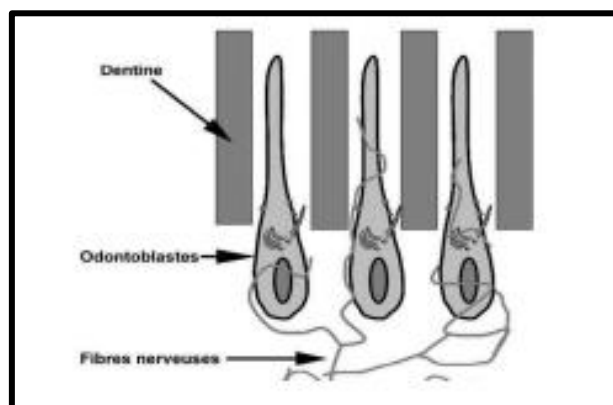


Figure 4 : La périphérie de la pulpe (89)

2. Le parodonte : (33) (88)

Le parodonte est l'ensemble des tissus qui assurent la fixation et le soutien de l'organe dentaire. On distingue le parodonte profond, constitué de (l'os alvéolaire, desmodonte, cément), et le parodonte superficiel composé du tissu gingival. La dissociation des deux entités se justifier sur un plan didactique, mais biologiquement le parodonte correspond à une unité fonctionnelle.

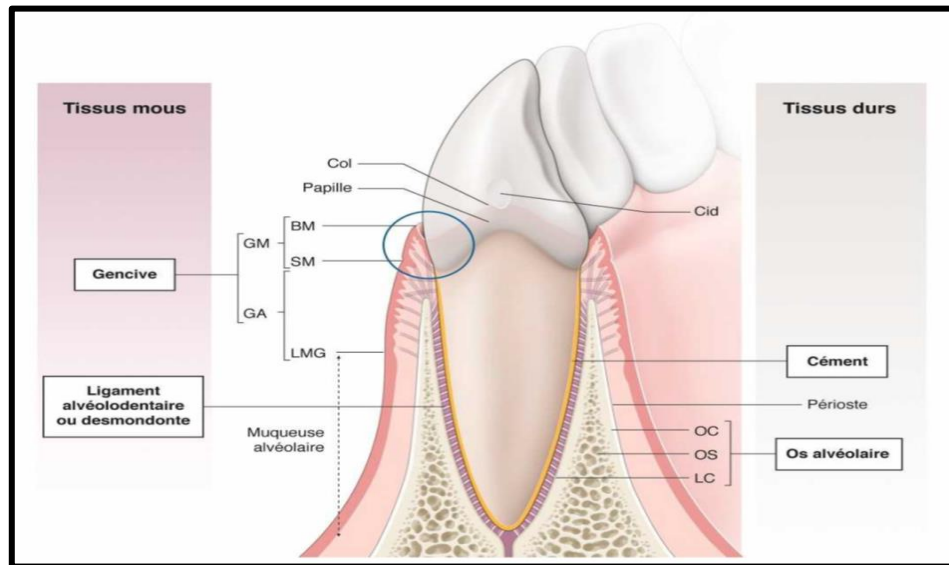


Figure 5 : Les quatre composantes du parodonte. BM : bord marginal ; CA : cément acellulaire ; CC : cément cellulaire ; Cid : contact inter-dentaire; GA : gencive attachée ; GM : gencive marginale ou libre ; LC : lame cribreuse ; LMG : ligne muco-gingivale ; OC : os cortical ; OS : os spongieux ; SM : sillon marginal. (15)

2.1. Embryologie : (15)

La dent et ses tissus de soutien, le cément, le ligament parodontal et l'os alvéolaire, constituent une unité fonctionnelle. Une cascade de signalisation initiée dans le premier arc branchial entre l'épithélium et l'ectomésenchyme dérivé des crêtes neurales céphaliques régule l'odontogenèse pendant les stades précoces du développement. En interdépendance avec la dent, les tissus de soutien sont formés à partir de la différenciation des cellules mésenchymateuses du sac folliculaire. À leur tour, les cellules de la gaine épithéliale de Hertwig prolifèrent et migrent en réponse aux signalisations des cellules mésenchymateuses adjacentes. Ainsi, l'édification radiculaire et la formation des tissus de soutien peuvent être

considérées comme une continuité des interactions réciproques mises en place entre l'épithélium et le mésenchyme lors du développement précoce.

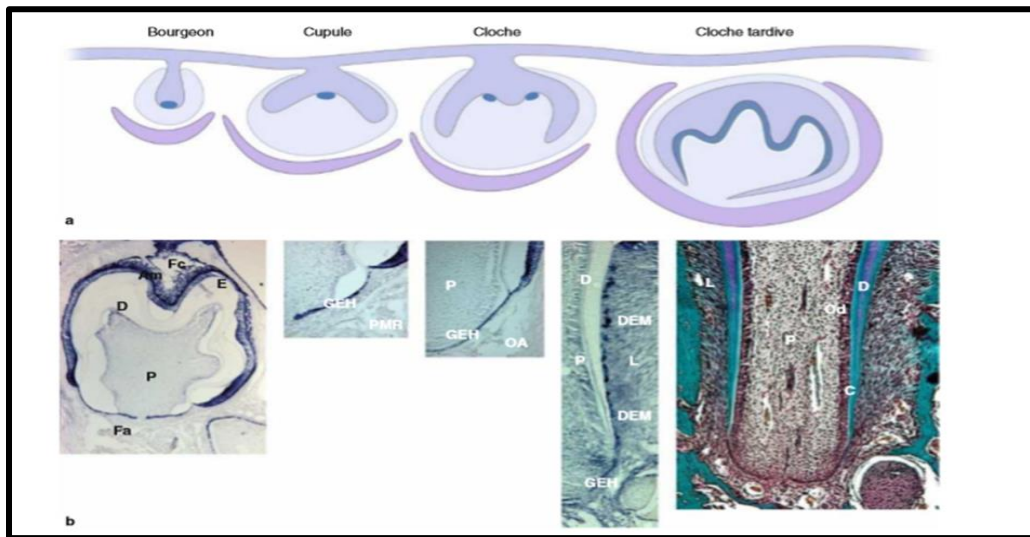


Figure 6 : Développement du parodonte. (15)

2.2. Anatomie et histologie :

2.2.1. La gencive : (15) (88)

C'est une muqueuse orale de type masticatoire recouverte d'un épithélium kératinisé en nid d'abeille pénétré par des invaginations profondes d'un tissu conjonctif fibreux fermement inséré au tissu osseux sous-jacent. C'est un tissu de recouvrement très résistant assurant la protection des structures sous-jacentes et participant ainsi à l'intégrité de la partie coronaire des procès alvéolaire et des septums osseux inter dentaires. La description de la gencive est fonction de sa structure et de sa localisation. Trois types de gencive sont distingués, la gencive libre ou marginale, la gencive attachée et la gencive papillaire.



Figure 7 : Aspect clinique de la gencive saine chez l'adulte jeune. (15)

2.2.2. Le ciment : (15) (33)

C'est un tissu calcifié d'origine conjonctive entourant la racine dentaire et recouvrant la dentine radulaire. Ni innervé, ni vascularisé, il a pour rôle de permettre l'ancrage de la dent dans son alvéole par l'intermédiaire de l'insertion de fibres desmodontales de Sharpey.

Il existe plusieurs types de ciment qui diffèrent les uns des autres par leur localisation, leur structure, leur vitesse de formation et leur fonction : ciment primaire acellulaire, ciment secondaire cellulaire et ciment acellulaire afibrillaire.

2.2.3. Ligament alvéolo-dentaire : (15) (76)

Appelé aussi desmodonte, C'est un tissu conjonctif fibreux, richement vascularisé et innervé qui occupe l'espace entre la racine dentaire et la paroi alvéolaire. Il garantit la fixation de la dent dans son alvéole et joue un rôle amortisseur des forces occlusales. Le ligament parodontal est une structure viscoélastique composée de faisceaux de fibres arrimant la dent à l'os et d'une matrice extracellulaire interstitielle dans laquelle résident différents types cellulaires : (fibroblastes, cimentoblastes, ostéoblastes, ostéoclastes,) ce qui lui confère un fort potentiel de régénération et qui est nécessaire à la réalisation des traitements orthodontiques < une force orthodontique transmet des pressions au niveau du desmodonte qui induisent une réponse biologique, aucun déplacement n'est possible sans desmodonte >

2.2.4. L'os alvéolaire : (1) (12)

C'est le principal tissu de soutien de la dent, il est défini comme la partie du maxillaire et de la mandibule qui forme et supporte les alvéoles dentaires. Il n'y a pas de délimitation nette entre l'os basale et l'os alvéolaire, ils sont en continuité.

Le procès alvéolaire se constitue en même temps que le développement et l'éruption dentaire, et il est graduellement résorbé lorsque la dent est perdue.

- **Embryologie de l'os alvéolaire :**

L'os alvéolaire se forme au dépend de la partie externe du sac folliculaire du germe dentaire à la fin du deuxième mois de la vie intra utérine, et parallèlement à la formation du ciment primaire de la racine. L'os alvéolaire vient se déposer contre la paroi de l'alvéole, englobant la dent, et réduit progressivement l'espace entre la dent et la paroi osseuse, ne laissant subsister que la place du ligament périodontal.

Les cellules mésenchymateuses du sac folliculaire se différencient en ostéoblastes qui vont sécréter la matrice organique de l'os alvéolaire, riche en collagène. Cette trame organique va subir une maturation et une minéralisation aboutissant à la formation d'un os embryonnaire. Le remaniement de cet os va aboutir progressivement à la formation d'un tissu osseux mature caractérisé par une structure lamellaire.

A la fin de l'édification, l'os alvéolaire fera sa jonction avec les bases osseuses des maxillaires.

- **Histologie de l'os alvéolaire :**

L'os alvéolaire est la partie de l'os maxillaire et de l'os mandibulaire qui contient les alvéoles dentaires. L'os alvéolaire comprend une corticale externe, un os spongieux médian et une corticale alvéolaire interne que l'on appelle aussi lame cribreuse ou lamina dura. L'os alvéolaire, comme tout tissu osseux, est un tissu conjonctif calcifié.

Le périoste recouvre seulement la corticale externe. La partie des fibres ligamentaires ancrée dans la corticale interne s'appelle fibres de Sharpey. Elles offrent la même structure qu'au niveau du ciment.

L'os alvéolaire est en perpétuel remaniement sous l'influence de l'éruption, de l'occlusion et des traitements d'orthopédie dentofaciale éventuels.

La corticale interne qu'on appelle aussi lame cribreuse dispose de nombreux pertuis par lesquels la vascularisation du ligament est assurée. Ces pertuis présentent aussi un intérêt lorsque la dent est soumise aux forces masticatoires.

- **Anatomie de l'os alvéolaire :**

L'aspect de cet os est dépendant de la dent, il varie en fonction du type de la dent (uni- ou pluri radiculaire), de sa position sur l'arcade dentaire, de l'intensité et la direction des forces occlusales qu'il supporte. Il appartient au groupe des os plats. Il comporte :

- les corticales alvéolaire (interne et externe)
- les alvéoles
- les septa inter dentaires et inter radiculaires
- la crête alvéolaire

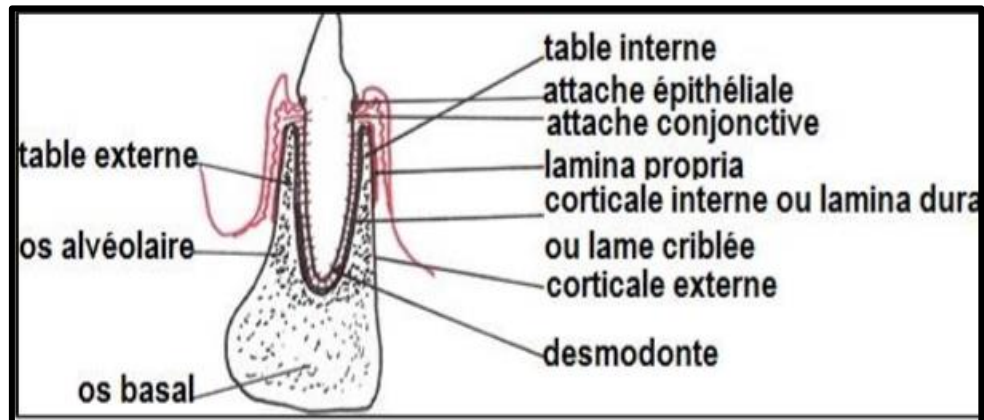


Figure 8 : Aspect anatomique de l'os alvéolaire (12)

• **Physiologie de l'os alvéolaire :**

- Remaniement de l'os alvéolaire (remodelage osseux)
- fonction de soutien
- migration dentaire physiologique
- occlusion et procès alvéolaire

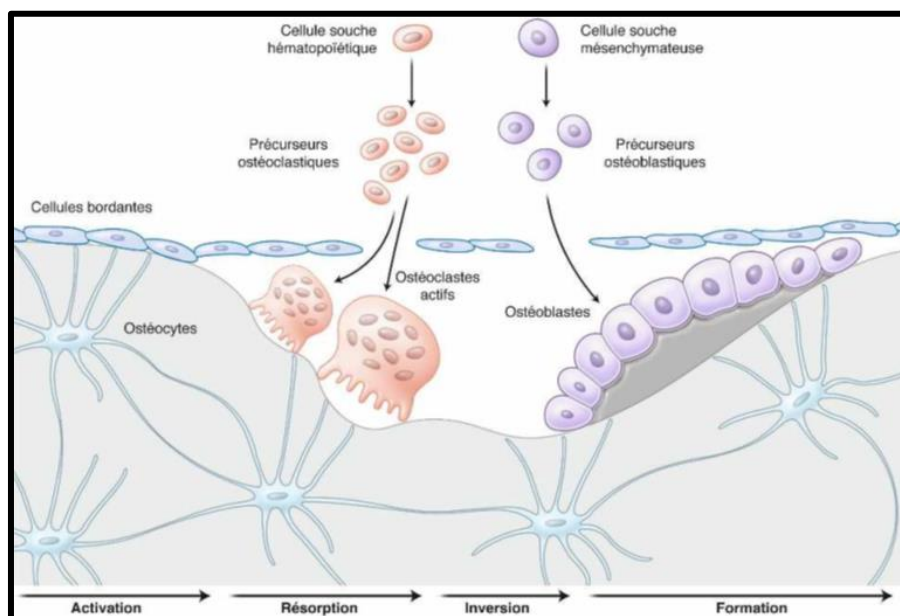


Figure 9 : Phases du remodelage osseux (15)

3. Les phénomènes de la croissance cranio-faciale : (49)

La croissance est une série de changements anatomiques et physiologiques de la vie prénatale à l'âge adulte, C'est un processus biologique quantitatif, Elle repose sur la multiplication cellulaire depuis la fécondation, Cette multiplication entraîne l'augmentation en volume, en poids, en longueur, des différentes parties du corps.

3.1. La croissance du crâne :

3.1.1. La voûte crânienne : (5)

Elle comprend d'avant en arrière : la portion verticale du frontal, les deux pariétaux, les deux écailles des temporaux, l'écaille de l'occipital

Son ossification est membraneuse dont le développement se fait en partie dans le cadre du développement cérébral en effet l'augmentation de la taille du cerveau tend à séparer les sutures de la voûte du crane par des bandes de tissu conjonctif appelées les fontanelles on en dénombre 6 : Deux médianes : fontanelle antérieure ou bregmatique et fontanelle postérieure ou lambdatique Quatre latérales : deux antérolatéral ou ptérique et deux postéro-latéral ou astérique qui répondent par une croissance suturale, et par apposition externe et résorption interne (croissance remodelante) accompagnant la croissance cérébrale et ce jusqu'à 6 ans, ensuite les modifications sont minime à cause de la fermeture des sutures membraneuses .

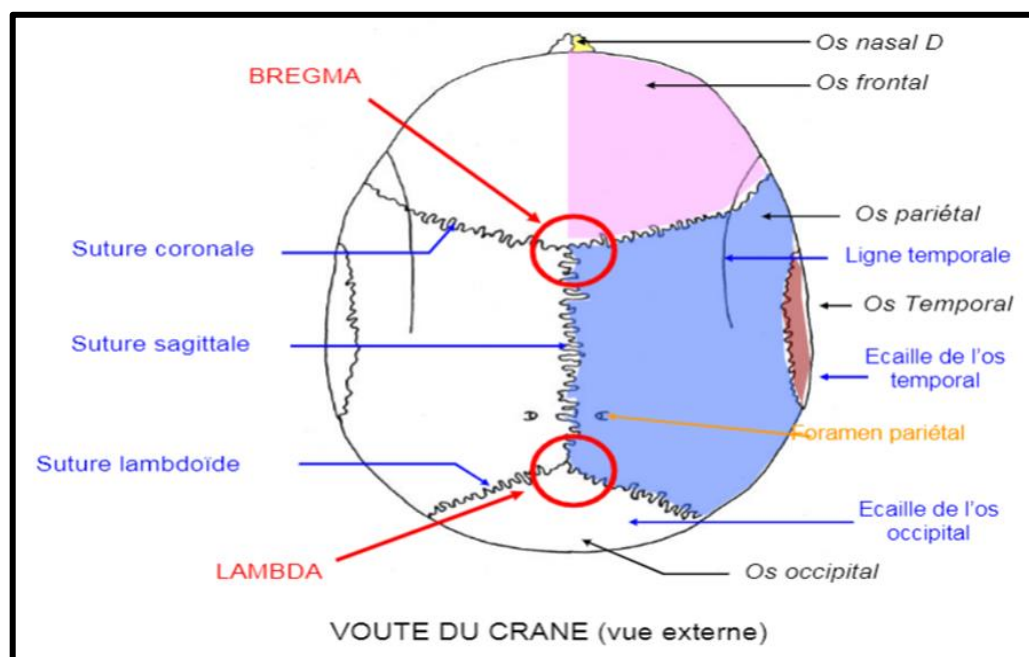


Figure 10 : la voûte du crâne (5)

CHAPITRE I : Généralités et Rappels

Le volume crânien des nourrissons correspond à 25% du volume adulte. A 3 ans, il atteint 80% de ses dimensions définitives. Cette augmentation dimensionnelle se fait d'abord en largeur, jusqu'à 2 ans puis en longueur jusqu'à 20 ans.

3.1.2. La base du crâne : (39)

La base du crâne comprend d'avant en arrière : la portion horizontale du frontal, la lame criblée de l'éthmoïde, les portions horizontales des grandes ailes et les petites ailes du sphénoïde, les rochers temporaux et le corps et les masses latérales de l'occipital.

La croissance de la base du crâne conditionne et entraîne en partie la croissance de la face, qui lui est appendue. Elle est essentiellement cartilagineuse et se fait par le jeu des synchondroses et des phénomènes d'apposition/résorption.

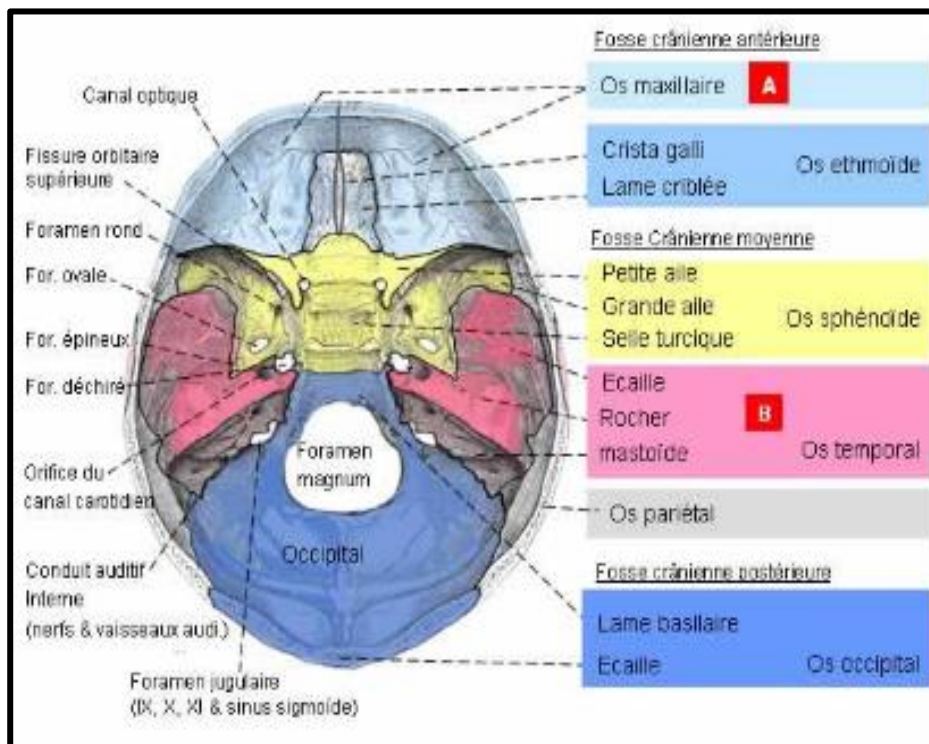


Figure 11 : la base du crâne (39)

3.2. La croissance de la mandibule : (66)

C'est un os complexe, tant par son ossification (os de membrane et cartilages secondaires) que par ses modifications morphologiques.

L'accroissement de la mandibule se fait en partie par l'activité du cartilage condylien (la croissance condylienne) et d'autre partie par le processus de remodelage (la croissance

remodelante), et la croissance due à l'apparition du système dentaire (qui est également une croissance remodelante).

3.2.1. Croissance remodelante :

D'un point de vue général, la mandibule modifie peu sa forme. Comme les os longs, son mode de croissance est d'abord linéaire puis devient plus sélectif, sous l'influence de son environnement musculaire et aponévrotique associée au développement des fonctions.

Ainsi, les phénomènes d'apposition/résorption aboutissent à un accroissement en largeur, par épaissement et dérive latérale du ramus, et un accroissement en longueur, par allongement du corpus et recul du ramus, permettant la mise en place successive des molaires.

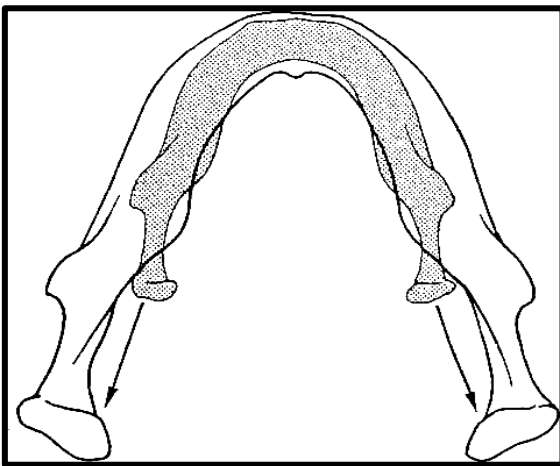


Figure 12 : la croissance horizontale de la mandibule (66)

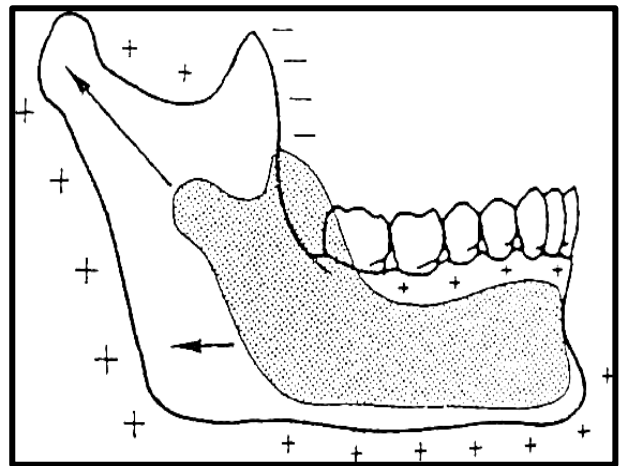


Figure 13 : répartition des zones d'apposition (+) et de résorption(-) au niveau de la mandibule (66)

3.2.2. Croissance condylienne :

Seul cartilage secondaire persistant après la naissance, le cartilage condylien prolifère d'un côté et est remplacé de l'autre par de l'os enchondral puis médullaire.

Il permet l'accroissement en hauteur de la branche montante, libérant ainsi un espace où se développent par apposition les procès alvéolaires, conjointement aux phénomènes de dentition.

3.2.3. Croissance due à l'apparition du système dentaire (TORODOVA, 1999) :

Il s'agit également d'une croissance remodelante. Le système dentaire forme les 2/3 du matériel osseux de la mandibule augmentant ainsi la dimension verticale.

Par ailleurs, du fait des rapports en occlusion dentaire, la croissance mandibulaire sagittale s'adapte à celle du maxillaire. L'engrènement occlusal constitue une information proprioceptive recueillie par le ligament alvéolo-dentaire, par l'articulé antérieur sécant et par l'articulé molaire triturant.

Ainsi, une occlusion dentaire correcte au cours des fonctions permettra une croissance harmonieuse des éléments maxillo-faciaux.

3.3. La croissance du massif facial supérieure : (13) (61)

Il correspond à l'étage moyen de la face et comprend 4 os pairs (maxillaire supérieur, palatin, malaire et os propre du nez) et un os impair, le vomer.

La face se développe selon deux modes : la croissance suturale et la croissance remodelante.

Les sutures sont des syndesmoses qui unissent des os essentiellement d'origine membraneuse elles n'ont pas de potentiel de croissance propre mais comme pour la clotte crânienne elles se comportent selon Delaire comme « des joints de dilatation a rattrapage automatique par prolifération conjonctive adaptative et ossification marginale »

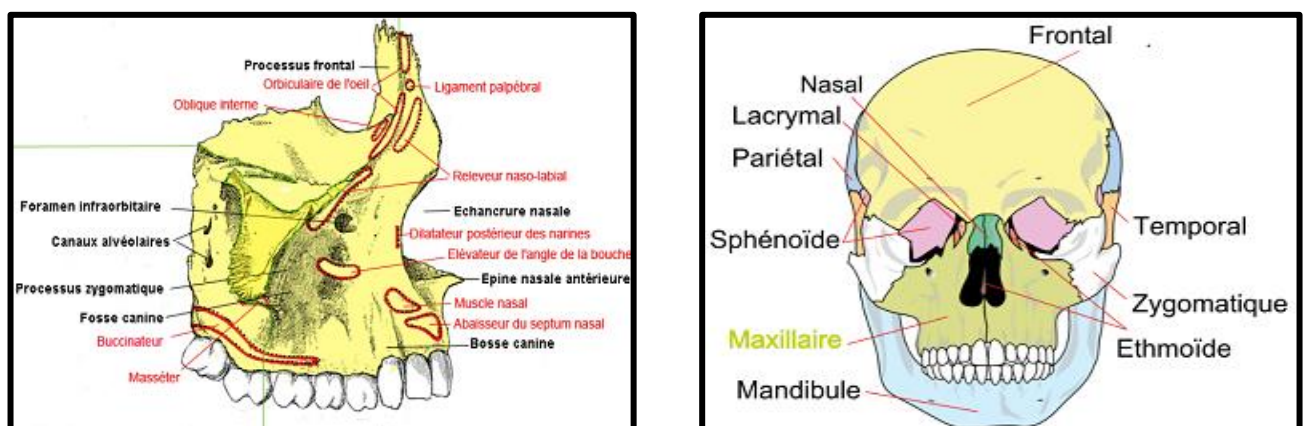


Figure 14 : l'os maxillaire (61)

3.4. La croissance alvéolo-dentaire : (75)

La croissance alvéolaire est dépendante de la dentition : les procès alvéolaires vont se développer avec l'éruption et la mise en fonction des dents et du desmodonte. Pour la plupart des auteurs, la croissance alvéolaire a un rôle de rattrapage entre la croissance maxillaire et mandibulaire. Cette compensation se fait aussi bien dans la dimension antéro-postérieure que dans la dimension verticale, jouant aussi un rôle important dans la hauteur de la face. Les procès alvéolaires ne cesseront d'être remodelés tout au long de la vie, de façon à compenser l'usure occlusale ainsi que la dérive mésiale physiologique. Ils seront soumis aux forces musculaires et aux fonctions environnantes de toutes sortes, contribuant à la forme des arcades alvéolaires. Leur direction de croissance est oblique en bas et en dehors au maxillaire, et en haut et en dedans à la mandibule, expliquant ainsi que la mandibule soit circonscrite par le maxillaire.

CHAPITRE II

HISTO-PHYSIOLOGIE DU DEPLACEMENT DENTAIRE

1. Les mouvements dentaires physiologiques : (72)

Au cours de la vie, le mouvement dentaire se produit de manière naturelle, la fonction masticatoire et la pression musculaire provoquent une mésialisation lente de l'ensemble de la denture. Ce déplacement est associé à un remaniement osseux (remodelage osseux), et la compréhension des phénomènes histo-physiologiques associés à ce remaniement permet de réaliser des déplacements dentaires provoqués au plus proche de la physiologie.

1.1. Concept biologique :

1.1.1 Cycle de remodelage (ARIF) : (52) (72)

Le remodelage de l'os alvéolaire se fait selon un cycle décrit par Baron : cycle ARIF.

C'est un cycle permanent de formation et de destruction de l'os et il se produit à chaque activation de l'appareil orthodontique. Il se décompose en quatre phases :

a/Activation :

Les cellules se rétractent, dégradent la matrice collagénique et attirent par chimiotactisme des pré-ostéoclastes sur la zone ainsi exposée. Ces pré-ostéoclastes peuvent alors fusionner pour former des ostéoclastes multinucléés et s'ancrer sur la zone à résorber.

b/Résorption :

Destruction du tissu osseux par les ostéoclastes en créant un compartiment acide, l'os résorbé laisse progressivement place à une lacune de résorption ou lacune de Howship.

c/Inversion :

Les ostéoclastes ont une durée de vie de 12 jours puis ils meurent par apoptose laissant alors place à des cellules mononucléées de type macrophagique qui régularisent le contour de la lacune et la préparent au comblement.

d/Formation :

Les ostéoblastes sont recrutés au sein de la lacune et s'y organisent en une couche monocellulaire. Ils synthétisent alors une matrice non minéralisée appelée le tissu ostéoïde constitué de collagène de type 1 et de protéines non collagéniques, qui comble la lacune. Les ostéoblastes produisent également des enzymes (phosphate alcalin) qui augmentent les

concentrations en ions calcium et phosphate, aboutissant ainsi à la formation de cristaux d'apatite et assurant la calcification de la matrice.

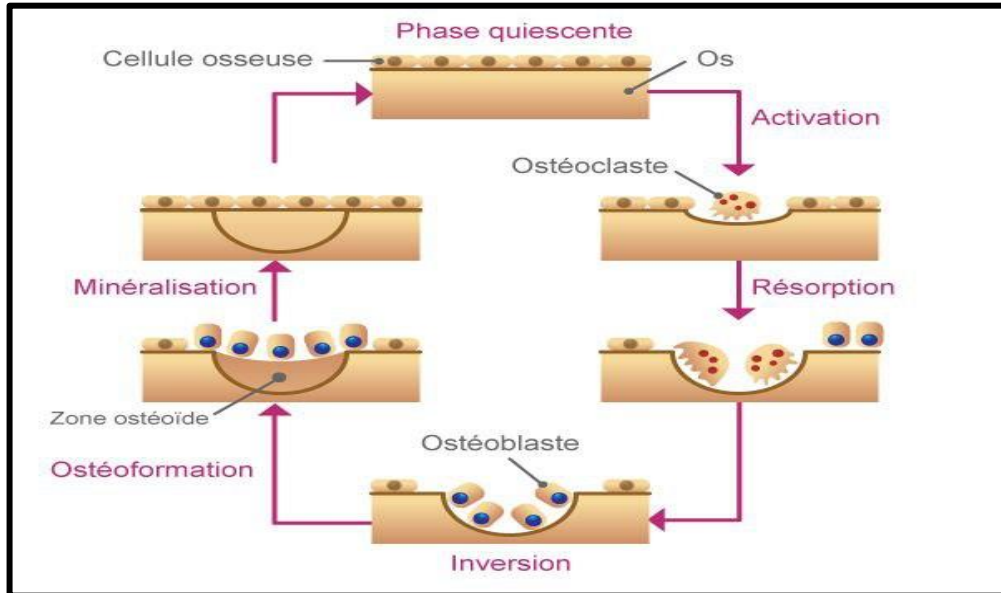


Figure 15 : Cycle ARIF

2. Les mouvements dentaires provoqués : (13)

2.1. Traitement orthodontique :

2.1.1. Définition :

L'orthopédie dentofaciale est une spécialité de l'art dentaire qui a pour but de prévenir, d'intercepter et de corriger les malpositions dentaires et les déformations maxillaires afin de permettre une occlusion fonctionnelle et équilibrée optimum des arcades dentaires au sein d'une croissance maxillo-faciale harmonieuse et un environnement fonctionnel correct. L'Association Américaine des orthodontistes a décidé en 1978, que le terme (Orthopédie dentofaciale) est un synonyme acceptable pour (orthodontie)

La thérapeutique en orthopédie dentofaciale utilise des dispositifs qui libèrent des forces dites extrinsèques ou sollicitent les muscles environnants des forces dites intrinsèques. Chaque dispositif présente un mode d'action précis qu'il convient de connaître avant toute utilisation au risque d'obtenir des lésions iatrogènes.

- La force simple que libère l'appareillage amovible va induire une simple version coronaire de la dent par l'intermédiaire du ligament alvéolaire.
- Le Système de force ou couple de force engendré par les appareillages multi-attaches fixés va par contre induire une version mixte de la dent, une gression voire une rotation ou un déplacement total de la dent avec son parodonte.

2.1.2. Types de traitement orthodontique :

a- Traitement amovible :

La thérapeutique mécanique amovible a pour but la correction des déformations alvéolo-dentaires grâce à l'emploi d'appareillages déployant des forces artificielles. Ces forces parviennent de l'élasticité d'un arc, d'un ressort ou d'un vérin. Elles sont légères et progressivement décroissantes. Elles exercent leur action à distance du centre de résistance de la dent, le déplacement induit ne peut être qu'une version coronaire. Le point d'application de la force est virtuellement ponctuel, contrairement aux brackets pour lesquels il s'agit d'une surface d'appui. La force est donc mal contrôlée. La thérapeutique mécanique amovible utilise les forces des moyens d'action des appareils mécaniques amovibles.

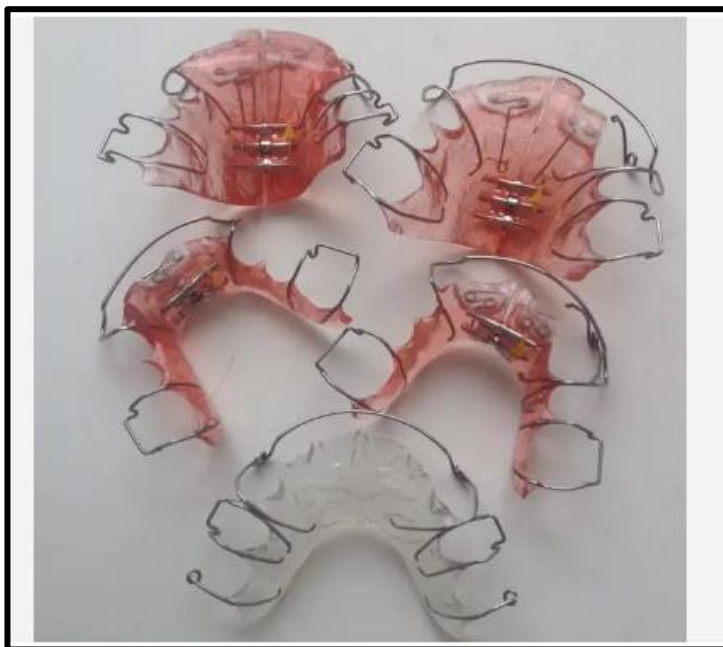


Figure16 : Appareils amovibles

b - Traitement multi-attache :

Dispositifs orthodontiques fixes développant des forces extrinsèques à l'aide d'arcs ou de ressorts adaptés sur des bagues ou des attaches fixées sur chaque dent. Ces dispositifs permettent d'effectuer des déplacements contrôlés dans les trois sens de l'espace, donc de déplacer les apex: Ces appareils comportent des moyens de fixation unitaire sur chaque dent les bagues scellées ou les attaches collées à l'aide de composite sur lesquelles sont soudées des brackets et des tubes. Dans ces brackets s'ajustent des arcs, soit continus de molaire à molaire soit segmentés. Ces fils sont fabriqués à l'aide soit d'un alliage à base d'acier inoxydable, soit d'alliages spéciaux. Leur section peut être ronde, carrée, ou rectangulaire. Ces arcs sont solidarités aux brackets à l'aide de ligatures ou d'anneaux d'élastomère.

Les techniques multi-attaches impliquent également le port par le patient de dispositifs ou d'appareils auxiliaires :

- Forces extra-buccales sur bagues (synonyme : forces extra-orales ou tractions péri-crâniennes)
- Tractions intermaxillaires, à l'aide d'élastiques intra-buccaux
- Appareils linguaux ou palatins, actifs ou passifs, fixes ou amovibles et réglés par le praticien.



Figure 17 : traitement multi-attache (14)

Il est important de savoir que ce dispositif dentaire est généralement fixé sur la face externe des dents. Cependant, il peut également être collé sur la partie interne des dents, on parle alors d'orthodontie linguale.

2.2. Les différents types de mouvement dentaire : (48)

Les dents se déplacent dans les trois dimensions de l'espace. Il est important de connaître les différents types de mouvements possibles lors de la planification d'un traitement pour évaluer les mouvements dentaires souhaitables et indésirables.

2.2.1. Translation :

Mouvement de translation est un mouvement parallèle à l'axe de la dent ou tous les points d'un corps se déplacent dans la même direction et avec la même amplitude. Le centre de rotation est effectivement à une distance infinie de la dent puisqu'il n'y a pas de rotation.

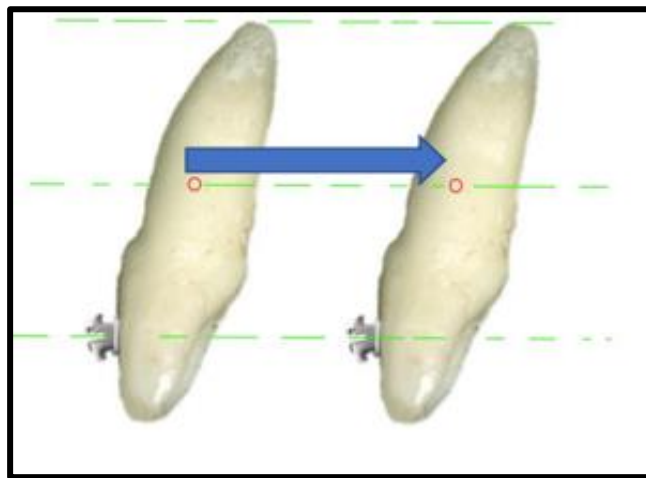


figure 18 : Translation d'une incisive centrale (48)

2.2.2. Rotation :

Une rotation pure se produit lorsqu'un corps tourne autour du centre de résistance (CR). Le centre de rotation est donc situé exactement au centre de résistance de la dent.

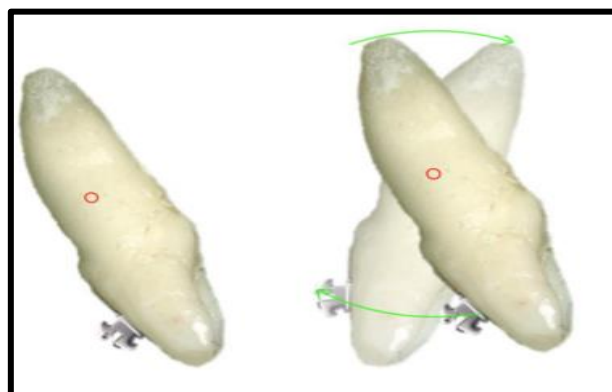


Figure 19 : Rotation pure (48)

2.2.3. Ingression/Egression :

Le mouvement d'ingression comme le définit E DELLINGER est un processus de changement de relation d'une dent par rapport à l'os alvéolaire. Mouvement plus ou moins risqué car si l'on ne contrôle pas la force d'ingression nous risquons de provoquer une résorption radiculaire et le mouvement d'ingression s'accompagne d'un mouvement de version vestibulaire de la couronne.

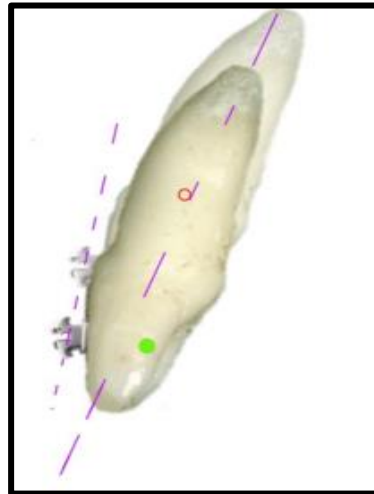


Figure 20 : Ingression d'une incisive (48)

Le mouvement d'égression est un déplacement induit par une force verticale agissant dans le sens de l'éruption

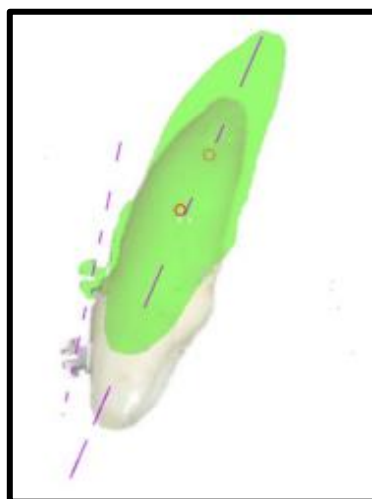


Figure 21 : Egression d'une incisive (48)

2.2.4. Version:

C'est le déplacement induit par une force simple appliquée au niveau de la couronne d'une dent, dans ce cas on parle d'une version incontrôlée, le Co est près de Cr. En revanche si le centre de rotation se situe au niveau de l'apex on parle d'une version contrôlée. La force exercée par l'appareil pousse la dent contre la crête alvéolaire du côté opposé à la force et une première zone de pression apparaît dans le desmodonte. Cette résistance fait pivoter la dent et une nouvelle compression naît au niveau apical.

2.2.5. Mouvement radicaire, de torque :

Co se situe au niveau du bord libre « exercer un mouvement de torque » sur une dent, c'est la déplacer dans le sens vestibulo lingual autour du point central, de sorte que la couronne et la racine se déplacent dans des directions opposées. Il s'agit de la force de torsion généralement requise pour ajuster l'inclinaison d'une couronne.

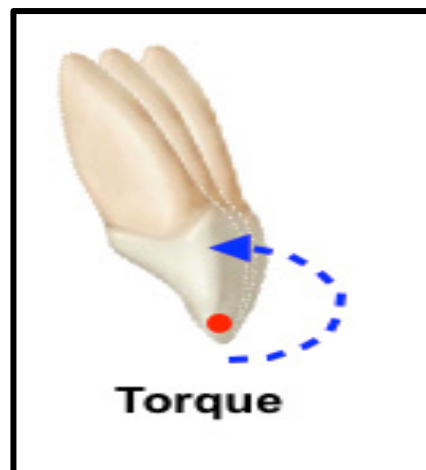


Figure22 : Torque (14)

2.3. Les forces orthodontiques : (13)

2.3.1. Définition :

Sont des forces dont l'action s'applique au niveau dento-alvéolaire, elles sont utilisables chez l'enfant comme chez l'adulte contrairement aux forces orthopédiques dont l'action se situe au niveau squelettique et qui ne seront donc efficaces que pendant la période de croissance de l'individu.

Une force orthodontique est caractérisée par :

a- L'intensité :

Une force appliquée sur la couronne d'une dent se transforme en pression (force par unité de surface) au niveau du desmodonte. Cette pression étant très inégalement répartie selon le type de force exercée et selon les caractéristiques du milieu. Les forces utilisées en orthodontie sont dites « biologiques », c'est-à-dire comprises entre un seuil minimum, suffisant pour induire l'apparition de cellules résorptrices du tissu osseux, et un maximum, fonction du seuil de sensibilité du patient et de l'apparition éventuelle de lésions irréversibles de la dent, de l'os et du desmodonte. La notion de force optimum est encore assez discutée. Elle sera différente pour chaque type de déplacement et chaque catégorie de dent. A titre d'exemple : version sur une incisive : 50 à 70 g ; gression (monoradiculée) : 70 à 90 g ; gression (pluriradiculée) : 150 à 300 g ; version radiculaire (par effet de torque) : 150g ; ingression : 15 à 25 g ; F. E.B.:500 g à 1kg.

b- La direction :

Dans les trois sens de l'espace : La résultante d'un système de force peut avoir :

- une direction verticale dans le sens de l'éruption ou dans le sens opposé à l'éruption.
- une direction horizontale ou oblique, dans le sens mésio-distal ou vestibulo-lingual.

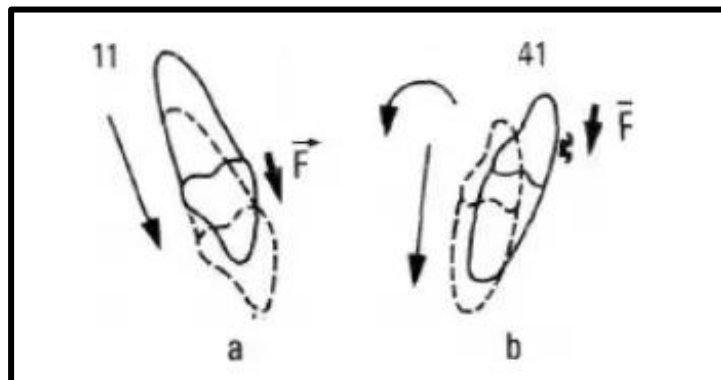


Figure 23 : Force verticale (13)

a- Égression pure, au niveau des incisives supérieures ; **b-** Ingression avec composante linguale, au niveau des incisives inférieures

c - Le rapport « moment-force » :

Déterminé par le point d'application du système de forces par rapport au centre de résistance (moment $M = F \times D$) (d c'est la distance du point d'application de la force au centre de résistance)

d - Le rythme d'application :

Pour de nombreux auteurs, il semble que le rythme d'application de la force soit plus important que l'intensité de la force.

2.3.2 Type de force : (14)

a- Les forces continues :

L'énergie libérée par le dispositif est très progressivement décroissante grâce à de nombreuses boucles ou des fils à mémoire de forme au rapport charge flexion faible. Des auteurs comme BARON (1975) conseillent d'utiliser des forces continues très progressivement décroissantes pour entretenir un certain pool d'ostéoclastes.

b- Les forces discontinues :

L'énergie libérée par le système mécanique diminue très rapidement dès que la dent commence à se déplacer. Pour certains auteurs l'application de forces de courte durée présente des avantages cliniques. En faisant succéder des phases courtes d'activation, il se produirait moins de hyalinisation, de lésions tissulaires, de résorptions radiculaires

c- Les forces intermittentes :

Des périodes sans aucun dispositif actif alternent avec des phases d'activité. C'est le cas d'appareils amovibles comme les activateurs, les FEO ou les forces directionnelles. Avec ce type de force, l'apposition d'ostéoïde côté tension, lors du port de l'appareil, va s'opposer au mouvement quotidien de récurrence potentielle lors des phases sans appareillage.

2.3.3. Les notions de la biomécanique : (14)

a- Centre de résistance :

Le centre de gravité d'une dent est le point d'application de son poids. La notion de centre de résistance (Cr) apparaît au moment où la dent est placée dans le milieu osseux. Cr

est alors le point par lequel doit passer la ligne d'action d'une force appliquée à une dent pour obtenir un mouvement de translation pure de cette dent.

La localisation du centre de résistance, indépendante du système de forces, dépend alors :

- du solide (forme et propriétés), pour la dent : longueur, nombre et forme des racines;
- Du milieu (propriétés) dans lequel il se trouve, pour le parodonte : hauteur et densité de l'os alvéolaire essentiellement

Le Cr se situe approximativement au niveau du premier tiers radiculaire (en partant de la crête alvéolaire) pour une dent mono-radiculée, au niveau de la furcation pour une dent pluriradiculée.

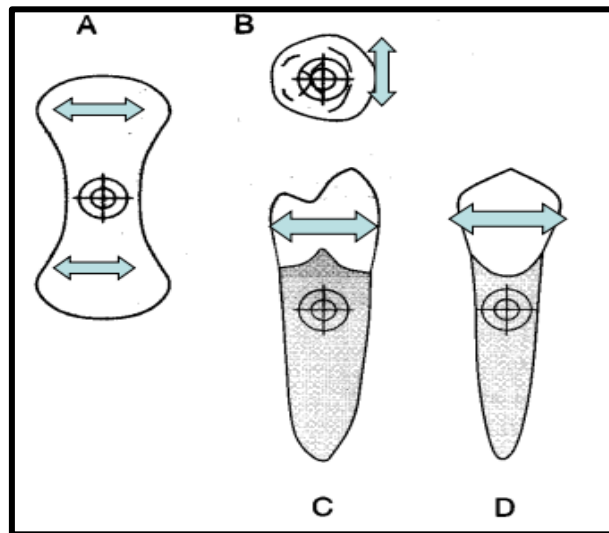


Figure 24 : Position du centre de résistance sous différents angles de vue : A: Radiculaire ; B: Occlusal ; C: Labio-Lingual ; D: Mesio-Distal (48)

b- Centre de rotation :

C'est le point autour duquel tourne un solide si on lui applique une force qui ne passe pas par son centre de résistance.

Il est dépendant du système de forces et, à la différence du centre de résistance, n'est pas obligatoirement situé sur la dent. Il s'agit en réalité d'un centre instantané de rotation car il varie avec le déplacement de la dent et la désactivation du dispositif orthodontique.

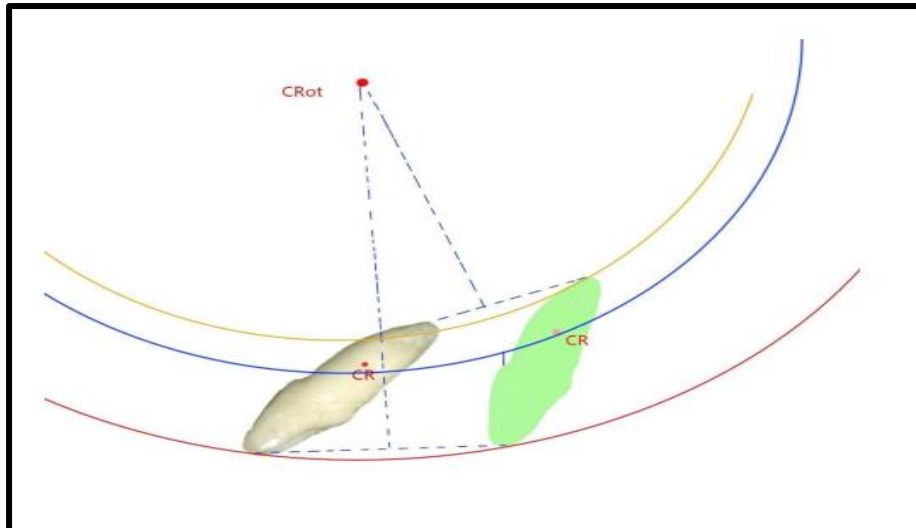


Figure 25 : Méthode pour localiser le centre de rotation (48)

c- Moment de la force :

Lorsque la ligne d'action ne passe pas par le centre de résistance, le corps effectue une translation associée à une rotation.

Le moment de la force $M(f)$ caractérise cette rotation et correspond au produit de l'intensité de la force (F) par la distance orthogonale de sa ligne d'action au centre de résistance (d) :

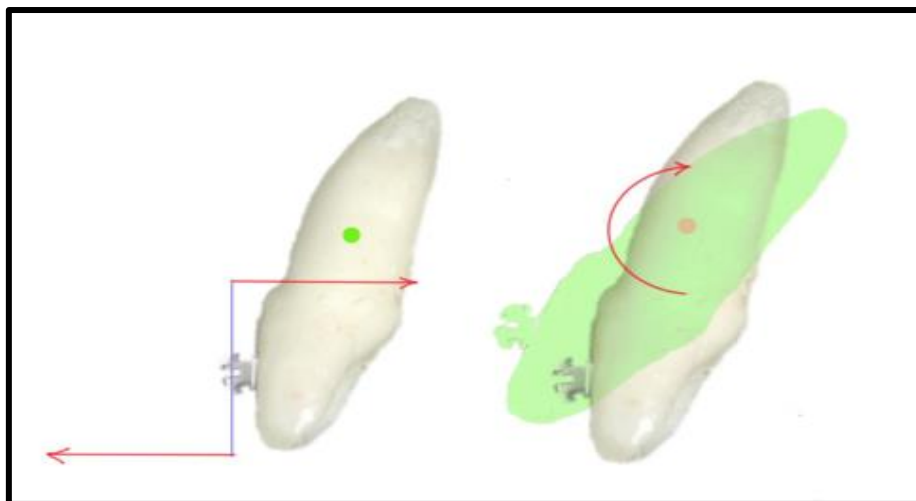
$$M(f) = F \times d \text{ (g.mm)}$$


Figure 26 : Couple de la force (48)

d- Moment couple :

Le moment d'un couple $M(c)$, dont les forces sont d'intensité égale, correspond au produit de l'intensité d'une des deux forces (F_c) par la distance orthogonale entre les deux lignes d'action (d_c) :

$$M(c) = F_c \times d_c \text{ (g.mm)}$$

e- Rapport moment/force:

Le rapport moment/force est l'élément essentiel de la gestion mécanique du dispositif orthodontique. Il détermine le mouvement que l'on va réaliser et la position du centre de rotation.

2.3.4. La force optimale en orthodontie :

On parle souvent, à propos des déplacements dentaires provoqués, de force optimale. Pour un élément dentaire, l'intensité optimale de la force est celle, qui a le meilleur rendement en vitesse de déplacement dentaire. La force est donc optimale quand le rapport vitesse/force est maximal, avec le moins de dommage possible au tissu et avec un minimum d'inconfort du patient. On peut qualifier aussi d'optimale la vitesse correspondante.

Cet optimum précéderait donc légèrement le seuil à partir duquel commence le phénomène de hyalinisation. Proffit définit la force optimale comme étant celle suffisante pour stimuler l'activité cellulaire sans oblitérer les vaisseaux sanguins du ligament. Il a établi une liste des forces à appliquer en fonction du mouvement désiré qui met en évidence la notion de force légère puisque selon lui, aucune force exercée ne doit dépasser 150g.

2.4. Cinétique du déplacement dentaire : (60)

En 1962, Burstone a proposé de décomposer le déplacement dentaire orthodontique en trois phases, Une phase initiale, une phase de latence et une phase de post latence.

La phase initiale se caractérise par un mouvement rapide, suivant de façon immédiate l'application de la force et correspondant au déplacement de la dent dans son alvéole. La phase de latence qui s'ensuit présente peu, voire pas de mouvement dentaire du fait de la hyalinisation du ligament alvéolo-dentaire du côté en pression. Enfin, durant la période de post latence, le taux de déplacement augmente graduellement ou subitement en fonction de l'intensité de la force.

2.4.1. Phase initiale :

Dès l'application d'une force, un déplacement dentaire immédiat est apparent. Il correspond à une compression du tissu conjonctif desmodontal et du lit vasculaire. Deux principales théories ont été proposées pour expliquer l'initiation des mouvements orthodontiques.

a - Théorie de la « pression-tension » :

Les études histologiques du parodonte conduites par Oppenheim ont abouti à la proposition de la théorie « pression-tension ». Il différencie un côté mis en pression et un côté mis en tension.

Le « côté pression » présente un ligament alvéolo-dentaire désorganisé, une diminution de la synthèse des fibres de collagène et de la multiplication cellulaire à cause de l'ischémie engendrée par les contraintes. Du « côté tension », l'espace desmodontal s'élargit, la prolifération cellulaire est stimulée par l'étirement des fibres desmodontales.

L'auteur a également montré une corrélation entre la réponse cellulaire et la force appliquée.

Schwartz (1932) a proposé de ne pas excéder une pression de 20 à 25 g/cm² de surface de racine afin de ne pas excéder la pression artérielle, ce qui pourrait entraîner une nécrose parodontale.

Ces travaux concluent que l'application d'une force trop élevée provoque une pression importante entre l'os et la dent, entraînant l'apparition de zones hyalines. En 1959, Reitan vient nuancer cette conclusion en montrant que l'application d'une force aussi faible soit-elle engendre dans tous les cas un certain degré de hyalinisation.

b - Théorie du « fléchissement de l'os alvéolaire » :

Développée par Farrar en 1888, la théorie du fléchissement de l'os alvéolaire explique que lors de l'application d'une force orthodontique à une dent, celle-ci est également transmise aux tissus environnants.

Ainsi la force entraîne une déformation de l'os, de la dent et des structures du desmodonte.

La déformation osseuse entraîne alors un remodelage de l'os au sein de la lamina dura, des alvéoles dentaires et à la surface des trabéculations de l'os alvéolaire.

Les ostéocytes agissent en véritables mécanorécepteurs au sein de l'os car ils détectent toute déformation mécanique. Ainsi, la courbure de l'os induite par l'application d'une force orthodontique active les ostéocytes, ce qui peut expliquer la résorption osseuse impliquée dans les déplacements dentaires.

2.4.2. Phase de latence :

L'application d'une force sur la dent entraîne un rétrécissement de l'espace desmodontal du côté en pression. Ce rétrécissement conduit à la compression du ligament alvéolo-dentaire et à un écrasement vasculaire. On assiste ensuite à la compression de faisceaux de collagène qui vont alors chasser les cellules et la substance fondamentale en dehors de l'espace desmodontal. La zone en pression devient alors uniquement constituée de fibres de collagène tassées, présentant un aspect vitrifié au microscope.

Cette zone correspond à la zone hyaline. L'existence de la zone hyaline entraîne une perte de temps dans le mouvement dentaire car le déplacement ne peut reprendre que lorsque l'os face à la zone hyaline est totalement résorbé.

2.4.3. Phase de post latence :

L'application d'une force sur la dent conduit au remodelage de l'os qui l'entoure afin de rétablir l'épaisseur desmodontale. Pour que le remaniement osseux s'effectue, le stress mécanique doit être transformé en réponse cellulaire. On assiste à la perception du signal mécanique par les cellules, puis à la transduction de ce signal mécanique en signal biochimique et enfin à la transmission du signal biochimique aux cellules effectrices.

2.4.3.1. Perception et transformation de la force en signal biochimique :

La conversion de la contrainte mécanique en signal biochimique fait appel à deux mécanismes principaux : la mécanotransduction et la réaction inflammatoire. Un phénomène de piézoélectricité pourrait également être impliqué dans ce processus.

a- Mécanotransduction :

La « mécanotransduction » est le processus par lequel les cellules d'un organisme convertissent les stimuli mécaniques de leur environnement en messages électriques, biochimiques, ou génétiques.

Les ostéocytes sont désignés comme les cellules les plus impliquées dans le phénomène de mécanotransduction au sein de l'os alors que cette fonction est dévolue aux fibroblastes dans le ligament alvéolo-dentaire.

b- Réaction inflammatoire :

Elle résulte de l'atteinte tissulaire générée par l'application d'une force orthodontique.

La phase initiale du déplacement engendre une gêne et une sensation douloureuse du fait de l'écrasement des fibres nerveuses. Les fibres nerveuses périphériques relèguent alors des neuropeptides. En plus de leur rôle de neurotransmetteur, les neuropeptides agissent en tant que vasodilatateurs. Ils augmentent le flux sanguin et stimulent la migration des leucocytes en dehors des capillaires ce qui conduit à la production de nombreuses cytokines.

2.5. Les réactions tissulaires au cours du déplacement dentaire : (14)

2.5.1. Les effets immédiats (hydropneumatiques) :

Dès l'application de la force, un déplacement immédiat (initial) est apparent :

- dans un premier temps, il correspond à un phénomène hydraulique : on assiste au niveau desmodontal une compression des espaces vasculaires avec ischémie (fuite du sang des vaisseaux vers les tissus voisins). Le ligament est progressivement comprimé le long de la lame criblée d'un côté (responsable de la sensation de douleur à l'activation) et il est étiré sur l'autre face de l'alvéole.

- dans un deuxième temps, on assiste à une déformation de l'os alvéolaire (flexion alvéolaire) faisant suite à cette compression du desmodonte.

2.5.2. Les effets biologiques à court et à moyen terme :

2.5.2.1. Côté pression :

a- Création de la zone hyaline :

Au niveau des zones soumises à de fortes pressions apparaît une dégénérescence cellulaire due au manque d'apport métabolique et à la compression des fibres de collagène. Il se produit à ce niveau une nécrose aseptique, cette zone est alors constituée uniquement des fibres de collagène tassés et au microscope optique a un aspect vitrifié acellulaire : c'est la zone hyaline. -Elle débute au bout de 36 heures et dure en moyenne 12 à 15 jours, pendant lesquels aucun mouvement n'est perceptible (temps de latence). Chez l'adulte ou lors de l'utilisation de force excessive, elle peut persister 40 jours et plus.

b- Élimination de la zone hyaline

Les tissus réagissent à cette nouvelle situation en tentant de recréer un équilibre ; l'os est résorbé, de manière à restaurer un espace desmodontal voisin de la normale et la zone hyaline est éliminée et réoccupée par des cellules et des vaisseaux.

Résorption osseuse direct : l'élimination de la zone hyaline se fait à partir des zones latérales ligamentaires. Deux phases se succèdent dans le temps :

- la résorption latérale directe ; dans laquelle les ostéoclastes autour de la zone hyaline résorbent la lame criblée ;
- la résorption frontale directe ; qui se produit après destruction de la zone hyaline, elle se fait à distance de la zone hyaline dans des zones de moindre pression.

Résorption osseuse indirecte : en regard de la zone hyaline ; l'activité ostéoclastique est reportée à distance du desmodonte dans les espaces médullaires, riches en cellules. Les ostéoclastes résorbent le mur alvéolaire, puis la lame criblée, par voie centripète. À ce stade, le ligament est considérablement élargi et le déplacement dentaire peut reprendre

c- Reconstruction :

Après élimination de la zone hyaline, une nouvelle couche de ciment et d'os alvéolaire se dépose et sert d'ancrage aux fibrilles de collagène néoformées.

2.5.2.2. Côté tension :

Effets : Les effets du déplacement mécanique initial de la dent dans son alvéole se résument à un élargissement desmodontal quantitativement égal au rétrécissement du côté opposé.

De ce côté du desmodonte, on observe :

- un élargissement des espaces vasculaires
- une orientation générale des faisceaux des fibres dans le sens de la traction.

Réactions : elles sont très proches de celles observées du côté en pression, mais de sens opposé. Il se produit donc une réorganisation ligamentaire avec une augmentation de la synthèse fibrillaire et une apposition osseuse d'os fibreux immature (l'ostéoïde) qui représente

CHAPITRE II : Histo-physiologie du déplacement dentaire

la trame organique sur laquelle se déposera ultérieurement la substance minérale pour donner l'os complet

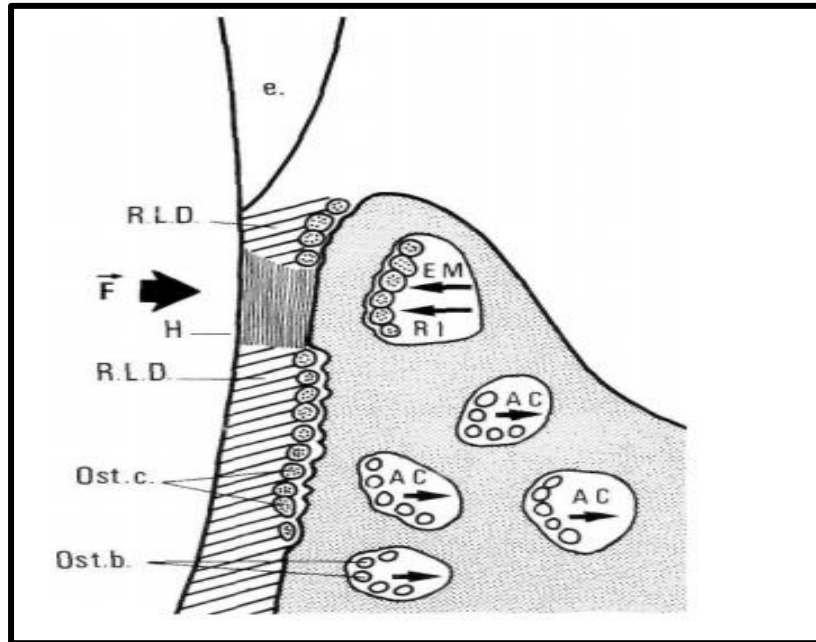


Figure 27 : Modifications histologiques au niveau d'une zone comprimée (13)

R. L. D. = résorption latérale directe.

R. I. = résorption indirecte.

H = hyalinisation tension et pression

A. C. = apposition compensatrice.

Ost.c. = ostéoclastes.

Ost.b. = ostéoblastes.

F = direction de la force.

E = émail.

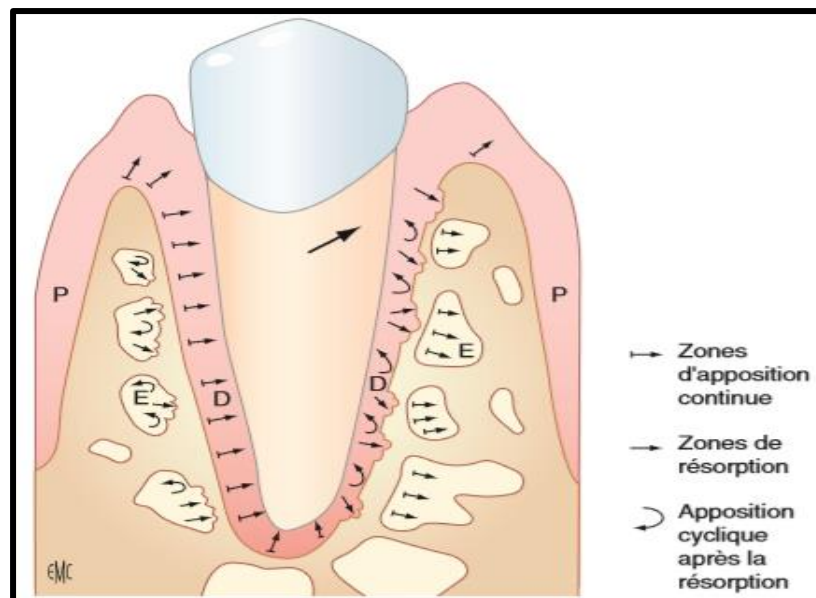


Figure 28 : Schéma du remaniement tissulaire (21)

2.6. Les facteurs qui influencent le traitement orthodontique :

Le déplacement des dents dépend de plusieurs facteurs qui sont :

2.6.1. Les facteurs intrinsèques :

2.6.1.1. Les facteurs généraux : (14) (85)

a- L'âge du patient :

Avec l'âge, on observe des modifications quantitatives et qualitatives des tissus parodontaux qui vont pouvoir influencer les caractéristiques du déplacement dentaire. Le patient jeune, en cours de croissance, présente une activité cellulaire importante et un os peu dense présentant des espaces médullaires importants avec des cellules conjonctives jeunes et abondantes en pleine prolifération. Ces conditions sont donc favorables au déplacement dentaire. En revanche, chez l'adulte on note que l'épaisseur de l'os est différente. L'os trabéculaire est plus poreux alors que l'os cortical est plus dense avec des tissus moins actifs, mais le déplacement est néanmoins réalisable.

b- Les facteurs nutritionnels endocriniens :

La carence ou l'augmentation des substances impliquées dans le mouvement dentaire l'altère.

- **Parathormone « PTH » :**

La parathormone ou hormone parathyroïdienne (PTH) est une hormone peptidique, hypercalcémiant, sécrétée par les glandes parathyroïdes. La PTH joue un rôle clé dans la régulation du métabolisme phosphocalcique. D'une manière générale, elle favorise l'ostéolyse qui permet la libération de Calcium (Ca) dans le sang.

- **Vitamine D active ou Calcitriole :**

Elle régule l'homéostasie phosphocalcique et la minéralisation du squelette en stimulant l'absorption digestive du calcium et du phosphate. La vitamine D agit également directement sur les ostéoblastes en stimulant l'expression des gènes de la phosphatase alcaline, de l'ostéocalcine et du collagène de type I. La vitamine D active la différenciation et la maturation des ostéoblastes.

- **Calcitonine :**

La calcitonine est une hormone hypocalcémisante sécrétée par la glande thyroïde. Cette dernière agit directement sur les ostéoclastes en diminuant leur mobilité et en accélérant leur apoptose. L'activité de résorption des ostéoclastes est donc inhibée par la calcitonine.

- **Hormones sexuelles :**

Les œstrogènes sont les principaux régulateurs hormonaux du niveau de remodelage du tissu osseux indépendamment du sexe. Les œstrogènes sont donc de puissants inhibiteurs de la résorption ostéoclastique (selon THOMAS et coll. 2008).

Les androgènes ont un rôle anabolique important et semblent avoir un rôle propre dans l'acquisition de la masse osseuse (selon THOMAS et coll. 2008). En présence de progestérone, la différenciation et la prolifération des ostéoblastes sont stimulées. La progestérone favorise donc également la formation osseuse (selon SARFATI et coll. 2009).

- **Hormones thyroïdiennes :**

Durant la période postnatale, les hormones thyroïdiennes sont indispensables à la croissance et contrôlent la maturation et la différenciation osseuse. Elles agissent en synergie avec l'hormone de croissance qui favorise la chondrogenèse et la croissance du cartilage. Les hormones thyroïdiennes permettent la maturation et l'ossification du cartilage. Chez l'adulte, les hormones thyroïdiennes sont également impliquées dans les phénomènes d'ostéosynthèse et de résorption osseuse, l'hyperthyroïdie s'accompagnant d'un risque d'ostéoporose (selon THOMAS et coll. 2008).

- **Hormones de croissance :**

L'hormone de croissance est sécrétée par l'hypophyse. Elle stimule la synthèse d'IGF-1 (insulin-like growth factor-1) qui conduit à une augmentation de la différenciation ostéoblastique et une diminution de la dégradation du collagène. Ainsi, l'hormone de croissance a un effet stimulateur sur la formation osseuse.

	Recrutement des ostéoclastes	Activités des ostéoclastes	Recrutement des ostéoblastes	Activités des ostéoblastes
Parathormone	↗	↗	↗	↘
Vitamine D	↗	↗	-	↘
Calcitonine	↘	↘	-	-
Hormones thyroïdiennes	↗	↗	-	-
Hormones de croissance	-	-	↗	↗
Hormones sexuelles	-	↘	↗	↗

↗ : Augmente ; ↘ : Diminue ; - : Sans effet

Tableau 1_: Tableau récapitulatif sur les effets des facteurs systémiques sur le tissu osseux (10)

c- La grossesse :

Selon des expériences sur des souris menées par COLLINS et SINCLAIR en 1988, les dents des femmes enceintes bougeaient davantage et les changements hormonaux augmentaient la quantité d'eau dans les ligaments, qui devenaient plus compressibles.

2.6.1.2. Les facteurs locaux :

a- La dent :

Les pressions se répartissent sur des racines dont la longueur et la surface sont différentes ; Plus la dent sera courte, plus la hyalinisation sera importante et de longue durée, même si la force initiale est légère. Par exemple, une canine réagira plus favorablement qu'une prémolaire à force égale (le déplacement sera plus rapide). D'autre part une dent qui se déplace en contact avec une ou deux voisines, exercera une contrainte moins forte sur son desmodonte. La pression sera répartie sur une plus grande surface radiculaire et on observera une résorption directe. Concernant les rapports occlusaux, les interférences cuspidiennes augmentent souvent les forces appliquées sur une dent.

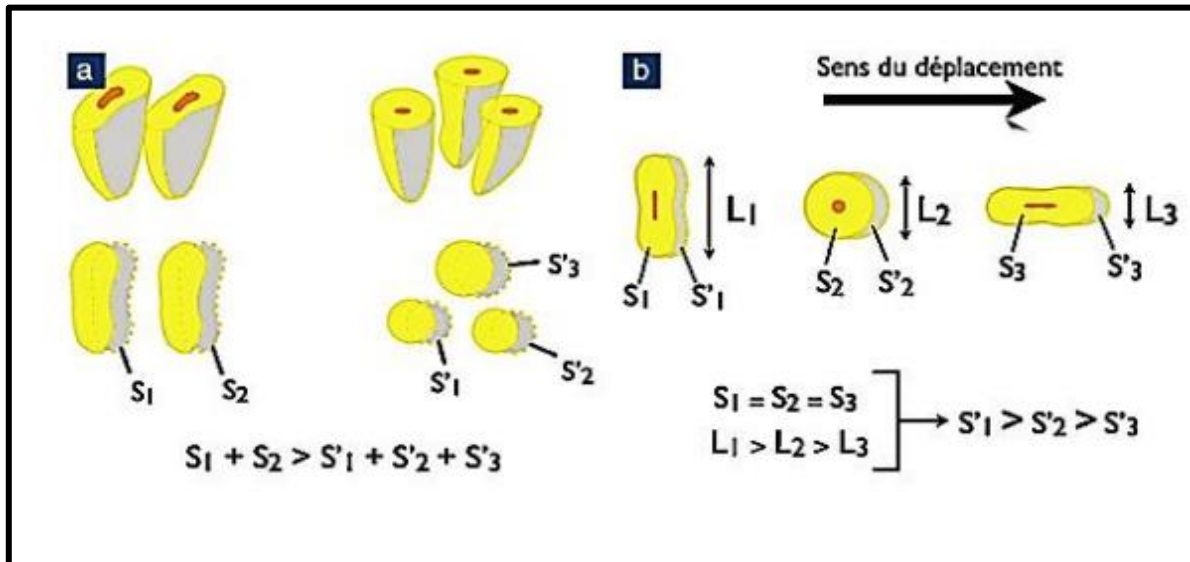


Figure 29 : Caractéristiques radiculaires influençant la vitesse de déplacement. (55)

a : surface d'os à résorber plus importante pour les molaires mandibulaires

b : parallélisme entre le grand axe radiculaire et le sens du déplacement.

b- L'os alvéolaire :

Elle est variable d'un patient à l'autre et selon le site. Un os très dense avec des espaces médullaires réduits présentera une hyalinisation plus intense et une résorption plus difficile qui va retarder le déplacement.

c- Le desmodonte :

Son étroitesse favorise la compression, donc la hyalinisation. C'est à la partie moyenne de la racine que le ligament est le plus mince.

d- Le tissu ostéoïde :

Il semble que ce tissu ne soit pas résorbable, pendant un premier temps, avant sa maturation. Il peut donc bloquer ou retarder le déplacement lorsqu'on inverse le sens de la force.

e-Le site de déplacement :

Il sera plus difficile de déplacer les dents à la mandibule qu'au maxillaire et plus facile de vestibuler des incisives supérieures que des incisives inférieures (épaisseur de la corticale, proximité de la lame criblée et la corticale externe).

2.6.2. Les facteurs biologiques extrinsèques : (54)

2.6.2.1. Intensité de la force :

Les forces utilisées en orthodontie sont dites « biologiques », c'est-à-dire comprise entre un seuil minimum suffisant pour induire un déplacement et un seuil maximum en fonction de la sensibilité du patient et de l'apparition éventuelle de lésions irréversibles des tissus dentaires et périodontaires. La notion de force optimale est encore assez discutée et sera différente pour chaque type de déplacement.

On voit ici apparaître le concept de force optimale qui produit le maximum de déplacement dans un minimum de temps en respectant les tissus dentaires et périodontaires. Il est très difficile de déterminer la force idéale à appliquer à chaque dent pour obtenir un déplacement donné, du fait en particulier de la diversité des réactions individuelles. Ce qui est important c'est la pression, c'est-à-dire l'intensité par unité de surface, réellement appliquée et non pas la force initiale qui peut être augmentée ou diminuée par le dispositif utilisé.

2.6.2.2. Le rythme d'application :

Pour certains auteurs, il semble que le rythme de l'application de la force soit plus important que l'intensité de celle-ci :

a-Des forces continues : l'énergie libérée par le dispositif orthodontique décroît très progressivement décroissante (vitesse faible de décharge de la force ; ex. : lors d'une phase de nivellement par un fil super élastique, alliage dont le rapport charge-flexion est faible) ;

b-Des forces discontinues : l'énergie libérée par le système mécanique diminue très rapidement dès que la dent commence à se déplacer (ex. : action d'une plicature sur un fil acier, alliage dont le rapport charge-flexion est élevé) ;

c- Des forces intermittentes : des périodes sans dispositif actif alternent avec des périodes où un dispositif actif est en place (ex. : port d'une FEO 12 h/24 h).

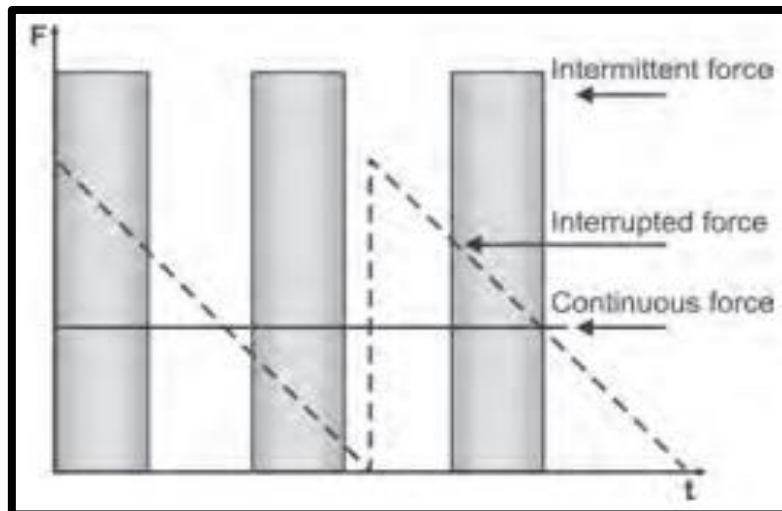


Figure 30 : Les types de force (85)

2.6.2.3. La direction de l'application de la force :

Elle peut être :

- a- Verticale : dans le sens de l'éruption (égression) ou le sens opposé 'ingression)
- b- Horizontale : dans le sens mésio-distal ou vestibulo-lingual

2.7. Les lésions consécutives aux forces orthodontiques iatrogènes :

Les thérapeutiques orthodontiques sont souvent associées à une amélioration du contexte parodontal, elles permettent en particulier d'améliorer les défauts osseux et mucogingivaux et d'assurer un meilleur contrôle de plaque. Cependant, L'utilisation prolongée d'un appareil orthodontique peut avoir certaines conséquences pour le patient. Réduire le temps de traitement n'est pas seulement un luxe, cela permettrait également de réduire les effets secondaires.

2.7.1. Les résorptions radiculaires : (55) (90)

Les résorptions radiculaires sont l'un des problèmes majeurs du traitement orthodontique. BRUDVIK et RYGH ont confirmé que les résorptions radiculaires constituent un élément du processus d'élimination de la zone hyaline. Ces phénomènes sont le plus souvent consécutifs à des traumatismes locaux et principalement à une surcompression du ligament au cours du déplacement dentaire

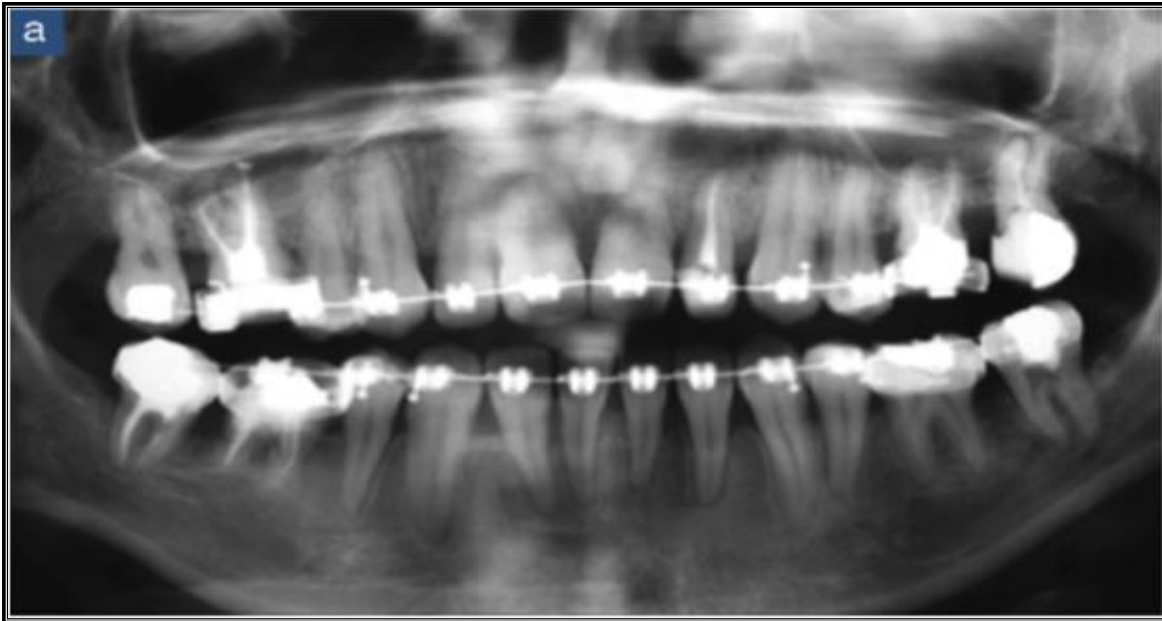


Figure 31 : Résorptions radiculaires au cours d'un traitement orthodontique (55)

2.7.2. Les lésions pulpaires : (90)

De nombreuses études histologiques décrivent une hyperhémie pulpaire passive veineuse puis un œdème, des exsudations séreuses et des hémorragies de la pulpe réversible après cessation de la force (KNOCHE et MONTEIL en 1978) cité par CANAL en 1996. (24)

2.7.3. Les lésions parodontales : (12) (90)

Certains auteurs ont mis en évidence l'apparition de lésions après traitement orthodontique, il s'agit de :

2.7.3.1. Des gingivites d'origine orthodontique :

Au cours des traitements orthodontiques, la clinique montre souvent des hyperplasies gingivales, qui disparaissent le plus souvent spontanément après dépose des appareillages.

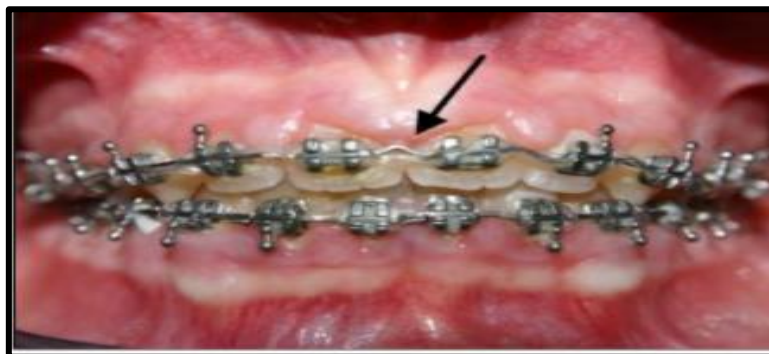


Figure 32 : gingivite d'origine orthodontique (12)

2.7.3.2. Les récessions gingivales :

Il existe une controverse en ce qui concerne la corrélation entre mouvements orthodontiques et apparition des récessions .Il apparaît néanmoins que la récession gingivale est une complication en orthodontie.

2.7.3.3. Fenestrations :

Résultant de mouvements trop vestibulaires des racines ou d'une grande vitesse de déplacement.

2.7.3.4. Fissures ou fentes gingivales :

Après fermeture d'espaces d'extraction, la vitesse de fermeture des espaces serait trop rapide par rapport au phénomène d'apposition et de résorption, cependant, ceci n'a pas pu être démontré histologiquement.

2.7.3.5. Des pertes d'attache épithéliale et d'os marginal :

En dehors d'un défaut de contrôle de la plaque, la cause de ces lésions parodontales pourrait être d'origine :

- Inflammatoire: le déplacement dentaire et l'intensité de la force augmenteraient ce phénomène.
- Traumatique: les traumatismes occlusaux épisodiques et faibles occasionnés pendant le traitement orthodontique.
- Des facteurs de risque: antécédents de maladie parodontale, biotype parodontal fin, ventilation orale.

Comme le précise FONTANELLE en 1982 : « l'orthodontiste ne déplace pas les dents comme un élément mobile traversant les tissus de soutien fixes. Il déplace, il modèle, il remodèle l'ensemble du complexe dento-parodontal : la dent, le desmodonte, l'os de soutien et les tissus de recouvrement ».

CHAPITRE III

LES MOYENS D'ACCELERATION DU TRAITEMENT ORTHODONTIQUE

1. Les techniques chirurgicales :

1.1. Techniques invasives :

1.1.1. Le phénomène d'accélération régionale (PAR) : (18) (50) (47) (92)

Le phénomène d'accélération régionale (PAR) initialement décrit sur les os longs par Frost en 1981. Correspond à un remaniement osseux rapide en réponse à une agression chirurgicale. Il consiste en une augmentation de l'activité osseuse ostéoclastique (turn-over cellulaire accru et diminution de la densité osseuse régionale). Cet état ostéopénique post-chirurgical est décrit comme une condition temporaire et réversible, laissant place à une rémission complète de la densité osseuse au fur et à mesure que la cicatrisation physiologique progresse et l'os retrouve sa densité initiale. Ce phénomène permet une cicatrisation osseuse physiologique accélérée de 2 à 10 fois la vitesse normale. Différents auteurs ont démontré que l'intensité du PAR dépendrait de la proximité avec le site opératoire et de l'intensité de l'agression chirurgicale de l'os. En effet, Dibart et al ont récemment étudié différentes profondeurs de corticotomies réalisées au piézotome chez le rat et ont démontré que l'intensité du PAR était proportionnelle à la profondeur de la corticotomie. Ainsi, aujourd'hui, il est communément admis et démontré dans de nombreuses études que l'action de l'ensemble des techniques chirurgicales d'accélération du déplacement dentaire est basée sur la théorie du PAR.

1.1.2. Corticotomie alvéolaire : (18) (19) (24) (90) (99)

En 1959, Köle [9] décrit une technique combinant des incisions verticales du cortex inter-proximal à une ostéotomie sous apicale de vestibulaire en palatin. L'auteur explique les déplacements rapides ainsi obtenus par ce qu'il pense être des mouvements de blocs osseux » plus ou moins indépendants les uns des autres. Par la suite, de nombreux auteurs publient des variantes de la technique en supprimant l'ostéotomie sous-apicale et en ne réalisant que des corticotomies superficielles mais tous expliquent cependant les mouvements rapides obtenus par le concept de déplacement de blocs.



Figure 33 : Corticotomie alvéolaire conventionnelle (47)

Après la blessure chirurgicale de l'os, un "phénomène d'accélération régionale" (RAP) se produit le RAP potentialise la réorganisation et la cicatrisation des tissus par une poussée transitoire de remodelage localisé des tissus durs et mous .il est associé à une augmentation de la perfusion et du renouvellement osseux et à une diminution de la densité osseuse.

- **Les indications de la corticotomie :**

1. Traitement de l'adolescent en denture adulte jeune.
2. Redressements d'axes, Ingressions, mésialisation, distalisation.
3. Fermeture d'espaces.
4. Dents incluses.
5. Traitement du déficit d'espace par expansion d'arcade.
6. Torque en orthodontie rapide : Traitement des Classes II division 2.
7. Patient présentant des racines à risques de résorption.
8. Correction des malocclusions de classe II ou de classe III non chirurgicales

- **Les contre-indications :**

1. Pathologies osseuses locales ou générales.
2. Traitement de l'enfant en présence des germes.
3. Cardiopathie, patients diabétiques non équilibré (se prescrire à l'avis médical),
4. Patient sous biophosphonate.
5. Parodontopathie avancée.
6. Hygiène gingivo-dentaire déficitaire.
7. Compliance limitée ou sujet pusillanime.
8. Gros fumeurs.
9. Malocclusions de classe III sévère (mais des classes III squelettiques légères peuvent être traitées).

1.1.3. Distraction alvéolo-dentaire : (10) (24) (72)

La distraction alvéolo-dentaire consiste en une ostéotomie localisée sur une dent à déplacer. La dent et son os alvéolaire sont individualisés en un bloc osseux qui sera mobilisé par la suite via des vérins. Elle est souvent pratiquée autour des canines suite à l'extraction des prémolaires. Cette technique se fait à l'aide d'un distracteur qui est un appareil réalisé en acier inoxydable, il est activé 1 à 2 jours après sa pose. L'activation se fait 2 fois par jour (une fois le matin, une fois le soir) avec une quantité de 0,8mm par jour.



Figure 34 : Le distracteur mis en place (78)



Figure 35 : Le distracteur (78)

- **Les indications :**

1. Distaler une canine ou mésialer un secteur latéral après l'extraction d'une prémolaire
2. Déplacer un implant ou une dent ankylosée
3. Fermer une fente ou une fistule palatine

- **Les contre-indications :**

Les contre-indications de la distraction alvéolo-dentaire sont les mêmes que celles énoncées pour les corticotomies.

1.1.4 La discision : (70) (80)

En 2018, Buyuk et al. ont proposé l'approche de discision, qui est directement basée sur la piézocision mais diffère en ce qu'elle utilise un disque rotatif sur pièce à main ou sur contre angle plutôt qu'un insert piézo-chirurgical (le piézotome).



Figure 36 : la discision (70)

- **Indications:**

1. Un parodonte stable sans parodontopathie
2. La motivation et l'assiduité du patient sont essentielles en piézocision comme en corticotomie.
3. Encombrement dentaire modéré ou sévère.
4. Classe II modérée associée à une dysharmonie dento-maxillaire modéré \Sévère.
5. Class III
6. Correction de la supra-clusie et l'infra-clusie.
7. Traitement orthodontique avec aligneur. (*Invisalign®*)
8. Extrusion et intrusion rapide.
9. La correction et la prévention des maladies mucogingivales qui peuvent apparaître pendant ou après le traitement orthodontique.

- **Contre-indications :**

Cette technique est formellement contre indiqué :

1. Les Patients sous biphosphonate.
2. Patients sous corticostéroïdes
3. Parodontopathies.
4. Toute pathologie osseuse,
5. Les dents ankylosées.
6. Denture mixte.

1.2. Les Techniques minimalement invasives :

1.2.1. La piézocision: (27) (31) (82)

Afin de pallier les inconvénients des techniques de corticotomies, Dibart et son équipe de recherche introduisent une technique ortho-chirurgicale novatrice minimalement invasive sans lambeau muco-périosté combinant des micro-incisions corticales piézoélectriques et tunnelisation sélective permettant des greffes osseuses et gingivales. La chirurgie de piézocision combine des micro incisions buccales au travers desquelles des corticotomies de 3 mm de profondeur et de 5 mm de longueur sont réalisées à l'aide d'un bistouri ultrasonore appelé Piézotome (SatelecActeon, Mérignac,) sous irrigation abondante. Cette technique a été proposée pour la première fois en 2009.



Figure 37 : Un exemple de bistouri ultrasonore : Le piézotome. (82)

- **Les indications et contres indications :**

Ce sont les mêmes que pour La discision

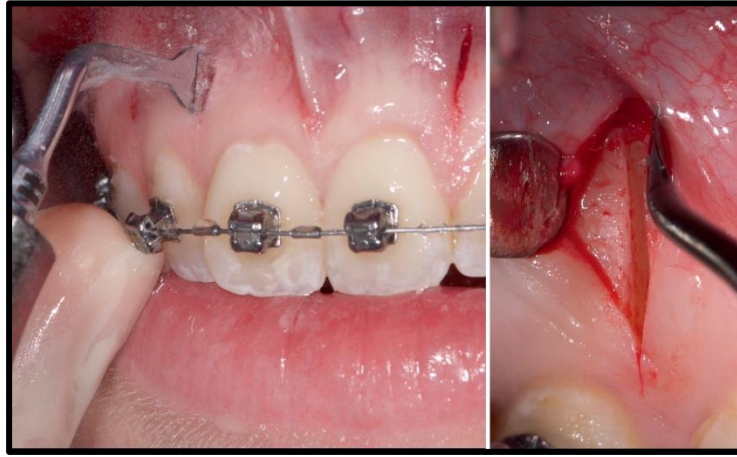


Figure 38 : La chirurgie de piézocision combine des micro-incisions buccales au travers desquelles des corticotomies de 3 mm de profondeur et de 5 mm de longueur sont réalisées à l'aide d'un piézotome sous irrigation abondante. (b) Résultat d'une corticotomie réalisée au piézotome (3 mm de profondeur, 5 mm de longueur) (19)

1.2.2. La corticision : (91)

La chirurgie de corticision a été introduite par kim et al (2009) ensuite elle est détaillée par Park et al (2016). Les incisions sont directement effectuées au travers de la gencive à l'aide d'une lame (No. 15T, Paragon, Sheffield, Royaume-Uni) et d'un maillet chirurgical.

C'est une technique minimalement invasive car elle ne nécessite pas l'élévation d'un lambeau mucoperiosté.

Cette technique est réalisée sous anesthésie locale le jour du collage des brackets .des incisions verticales en inter radiculaires laisse 5 mm de gencive papillaire pour éviter la perte osseuse de la crête alvéolaire

Le bistouri est placé au niveau de la gencive attachée entre les racines avec une inclinaison de 45-60° le long de l'axe de la dent Un coup de maillet est donné pour permettre de traverser la gencive attachée ainsi que l'os cortical jusqu'à 10 mm de profondeur , après les incisions verticales la lame est retirée par un mouvement de balancier cette procédure est répétée le long de ligne d'incision de chaque zone inter-radiculaire des dents à déplacer. Aucune sutures ou un pansement parodontal sont nécessaires .Une force orthodontique est appliquée immédiatement après la chirurgie.



Figure 39 : L'incision à l'aide du scalpel. (91)

- **Les indications et les contres indications :**

Sont les même que pour la technique de coticotomie

1.2.3 La micro-ostéoporation (MOP) : (18) (72) (99)

La micro-ostéoporation (MOP) consiste en la réalisation de corticotomies/perforations circulaire à minima de 1.5mm de largeur et 2 à 3 mm de profondeur, à l'aide d'un dispositif spécifique stérilisable nommé Excellerator RT (propel, ormco, Calif)



Figure 40: Excellerator RT (propel, ormco, Calif) (18)

La technique opératoire des MOPs est simple. Après anesthésie des micro-perforations osseuses sont réalisées à l'aide de mini-vis montées sur tournevis. La technique consiste à placer la vis dans le corticale, et une fois la longueur de la perforation atteinte, la dévisser.

- **Les indications :**

1. Rétraction incisive
2. Encombrement antérieur

3. Désinclusion canine
4. Extrusion d'une racine
5. Fermeture d'un espace
6. Mésialisation d'une dent
7. Expansion transversale
8. Diminuer le risque de résorption radiculaire

- **Les contres indications :**

Les pathologies parodontales, la mauvaise hygiène bucco-dentaire, perte osseuse préexistante, médication anti inflammatoire, maladies osseuses.

2. Les techniques non chirurgicales

2.1. Les stimuli physiques :

2.1.1. Le laser (LLT: Low Level Therapy): (40) (56) (58) (72) (79) (83) (86) (87)



Figure 41: Application du Laser (44)

Le terme LASER est l'acronyme de « Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation ». En tant que première application en dentisterie par Miaman, en 1960, le laser a vu diverses applications dans les tissus durs et mous.

Aujourd'hui les lasers trouvent des nombreuses applications en orthodontie en tant que domaine important de la dentisterie.

Le laser, utilisé à faible intensité, aurait un effet biostimulant sur l'os ; on l'appelle aussi la photobiostimulation ou photobiomodulation. Il est aussi étudié dans la recherche de diminution de la douleur causée par l'appareil orthodontique.

a- concept :

Lors de l'application des forces orthodontiques sur les dents, les ostéoclastes sont augmentés du côté comprimé et les ostéoblastes du côté traction. L'augmentation du nombre de cellules stimule le remodelage osseux autour de la racine et entraîne un mouvement dentaire.

La résorption et le dépôt se produisent de manière égale dans le remodelage physiologique et la masse osseuse ne change pas. L'intégrité squelettique intacte du corps est le résultat d'un équilibre dynamique entre les ostéoblastes et les ostéoclastes. Le taux de remodelage est essentiellement associé aux ostéoblastes car les ostéoblastes sont responsables de l'induction de la prolifération et de la différenciation des cellules ostéoclastiques. Ces facteurs comprennent le facteur de nécrose tumorale (TNF) et l'activateur du récepteur du ligand nucléaire KB (RANKL). RANKL se lie à son récepteur qui est le récepteur activateur du KB nucléaire (RANK) et induit l'ostéoclastogénèse et active les ostéoclastes.

D'autre part, l'ostéoprotégrine est une cytokine produite par les cellules ostéoblastiques et de la moelle osseuse et inhibe l'ostéoclastogénèse. Parce qu'il est capable de se lier à RANK et empêche la liaison de RANKL, il conduit à l'inhibition de l'ostéoclastogénèse. Le RANKL et l'ostéoprotégrine régulent donc la résorption osseuse. Les niveaux de RANKL sont augmentés dans le PDL et le liquide du sulcus gingival pendant l'OTM, tandis que l'ostéoprotégrine diminue de manière significative. La thérapie au laser à faible niveau provoque une augmentation du RANKL dans le ligament parodontal et peut augmenter le taux de mouvement des dents pendant le traitement orthodontique.

Des études *in vitro* ont montré les effets biostimulant sur des cultures cellulaires ; d'autres études chez le rat ont montré la stimulation du remodelage osseux (stimulation des ostéoblastes et ostéoclastes) lors d'expansion palatine au niveau de la suture médio-palatine et durant le déplacement dentaire.

b. Le point sur la littérature :

De nombreuses études ont été menées pour accélérer le mouvement orthodontique des dents. Guram et al. (8) le laser à diode GaAlAs de bas niveau appliqué (810 nm, 5 J/cm²) sur 20 patients en protrusion bi-maxillaire simple de classe I pour étudier la durée du mouvement dentaire orthodontique et la perception de la douleur. Selon le résultat de l'étude, il y avait une diminution statistiquement significative du taux de rétraction canine dans le groupe laser

CHAPITRE III : Les moyens d'accélération du traitement orthodontique

par rapport au groupe témoin, et l'expérience de la douleur était également statistiquement significative pendant les 2 premiers jours de traitement orthodontique. En conséquence, il a été souligné que la thérapie au laser est une procédure utile sur le mouvement orthodontique des dents et que la LLLT peut réduire le temps de traitement orthodontique fixe. Dans une étude *in vitro* visant à comparer les effets des LLLT, des ultrasons pulsés de faible intensité (LIPUS) et de leur association sur le remodelage osseux lors du déplacement dentaire orthodontique chez le rat, il y avait quatre groupes : le premier groupe a été irradié avec une diode 940 nm laser, le deuxième groupe avec LIPUS, et le troisième groupe avec une combinaison de LLLT et LIPUS. Le quatrième groupe a été utilisé comme groupe témoin. Il a été révélé que la quantité de mouvement dentaire et le remodelage osseux histologique étaient significativement plus importants dans les groupes de traitement que dans le groupe témoin. Parmi les groupes de traitement, le groupe combiné était le plus élevé et le groupe LIPUS était le plus bas. En conséquence, l'utilisation de LLLT et de LIPUS peut réguler à la hausse les expressions des gènes tissulaires, augmenter le mouvement orthodontique des dents et améliorer le remodelage osseux.

La plupart des études portant sur les effets de la LLLT sur le mouvement dentaire ont été réalisées sur des animaux. En 2004, Cruz et al. ont étudié pour la première fois les effets de la LLLT sur l'homme. Pour les 11 patients de l'étude, la moitié de l'arcade supérieure a servi de groupe témoin, recevant une activation mécanique des canines tous les 30 jours. La moitié opposée a reçu la même activation mécanique, mais a également été irradiée avec une diode laser. Les résultats de l'étude ont montré une accélération significativement plus importante de la rétraction canine du côté traité avec LLLT par rapport au contrôle.

Une étude de conception en bouche divisée comprenait 12 patients devant subir l'extraction des deux premières prémolaires supérieures. Les patients ont été sélectionnés au hasard pour le groupe expérimental qui a reçu un rayonnement du côté gauche ou droit avec un laser à diode (longueur d'onde de 810 nm, puissance de sortie de 100 mW, densité d'énergie de 6,29 J/cm²). Le traitement au laser a été appliqué aux jours 0, 7, 14 et 21, après chargement des forces de rétraction canines. Les concentrations de GCF en IL-1 β , RANKL et OPG ont été analysées. L'arcade supérieure de chaque patient a été scannée avec un scanner intra-oral pour évaluer le mouvement des dents.

Le mouvement dentaire cumulé sur 28 jours était significativement plus élevé dans le groupe laser que dans le groupe témoin. Nous avons observé des réductions significatives des niveaux d'OPG et des augmentations des niveaux d'IL-1 β et de RANKL.

Avec les réglages des paramètres utilisés dans cette étude, LLLT pourrait, dans une certaine mesure, entraîner des changements dans le métabolisme osseux, ce qui pourrait accélérer le mouvement orthodontique des dents.

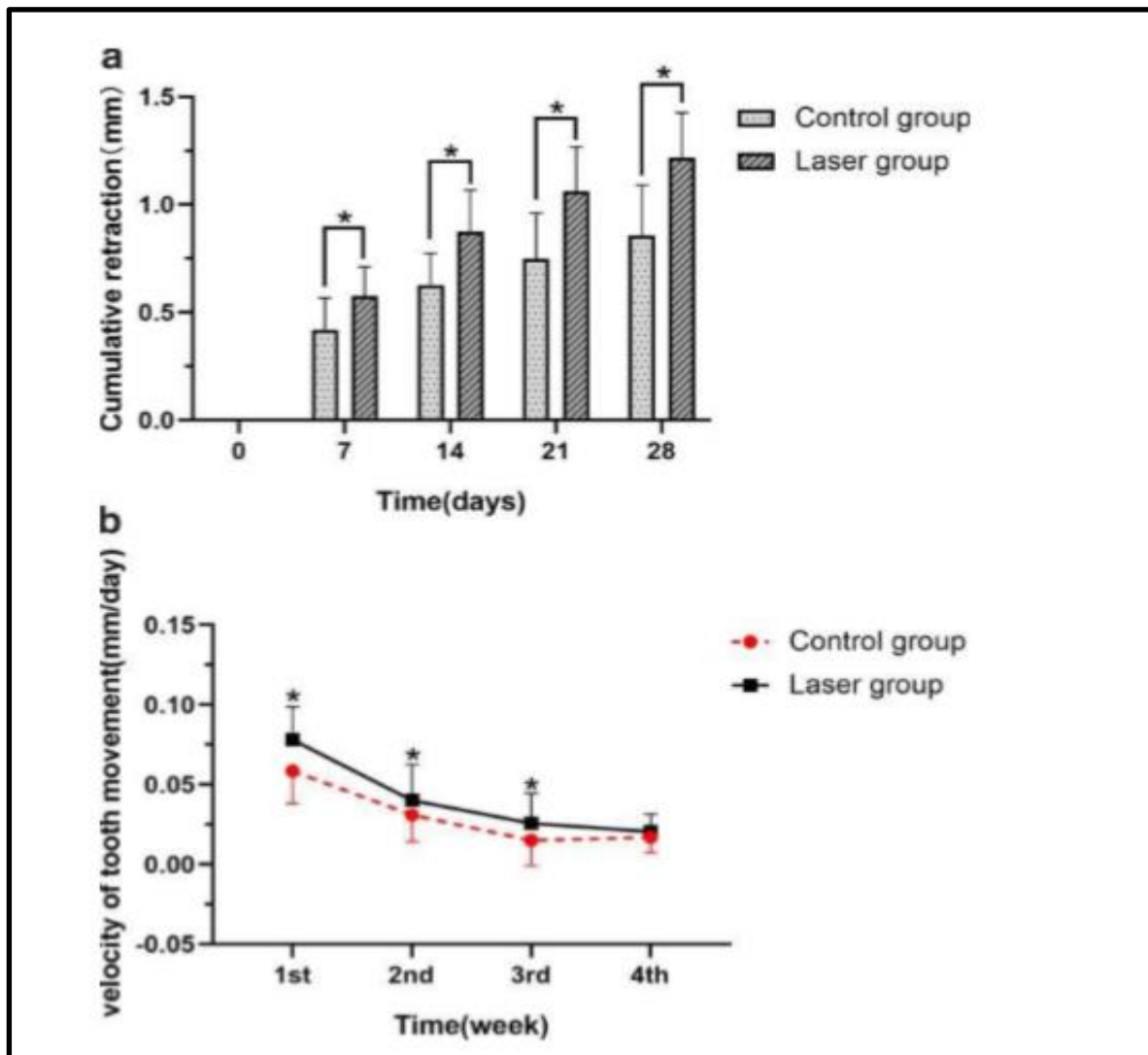


Figure 42 : Comparaison du mouvement et de la vitesse avec et sans traitement au laser (56).

a- La rétraction cumulée des canines. b- la vitesse de déplacement des dents sont indiquées dans les groupes contrôle et laser tout au long de la période d'étude.

Une autre étude clinique randomisée en double aveugle contrôlée par une attelle buccale inclut 20 patients orthodontiques (8 hommes et 12 femmes) nécessitant une rétraction canine

CHAPITRE III : Les moyens d'accélération du traitement orthodontique

bilatérale. Le temps nécessaire à la rétraction canine avec le quadrant LLLT (groupe A) par rapport au quadrant témoin (groupe B). Les données ont été tabulées et évaluées statistiquement à l'aide de SPSS 20 pour Windows (Microsoft, Chicago, IL, USA).

Résultats : Il n'y avait pas de différence dans les valeurs d'âge et de sexe du patient pour le mouvement dentaire. Il y avait une diminution statistiquement significative du taux de rétraction canine dans le groupe A par rapport au groupe B. Il y avait une différence statistiquement significative pour les arcs maxillaires et mandibulaires dans le groupe A alors qu'elle n'était pas significative dans le groupe B. Donc LLLT peut réduire le calendrier OTM fixe.

Rate of retraction	Maxillary Group A	SD	Maxillary Group B	SD	P	Mandibular Group A	SD	Mandibular Group B	SD	P
T1 (after 2 months)	1.17	0.15	0.78	0.013	0.002	1.01	0.25	0.68	0.26	0.001
T2 (after 3 months)	1.78	0.28	0.87	0.014	0.001	1.38	0.24	0.85	0.11	0.002
T3 (after treatment completion)	1.97	0.21	0.97	0.011	0.001	1.57	0.31	0.88	0.15	0.002

SD: Standard deviation; Test: t-test; Significance: $P < 0.05$

Tableau 2 : Taux de rétraction canine entre le groupe A et le groupe B (40)

Pour conclure La gravure au laser, les effets biostimulants et le déplacement dentaire sont des domaines prometteurs d'utilisation du laser dans la pratique clinique de l'orthodontie.

Actuellement, les lasers sont principalement utilisés pour des études de recherche dans le domaine de l'orthodontie. Dans un avenir proche, avec la clarification des protocoles d'exposition au laser et une diminution des coûts, les lasers pourraient jouer un rôle de plus en plus important dans la thérapie orthodontique.

2.1.2. Les vibrations : (2) (7) (18) (43) (64) (93) (94)

a- Le concept :

Les forces vibratoires ont été considérées comme une approche non pharmacologique et non invasive pour stimuler la formation osseuse. Des résultats positifs ont été rapportés dans des applications telles que la prévention et le traitement de l'ostéoporose.

CHAPITRE III : Les moyens d'accélération du traitement orthodontique

La guérison des fractures osseuses (Kasturi & Adler, 2011) et l'amélioration de l'ostéointégration des implants dentaires (Zhang et al. 2011). L'utilisation des vibrations en orthodontie a été évoquée pour la première fois par Mao et al. en 2003. Il a utilisé les vibrations dans l'étude de la croissance crânio-faciale chez des animaux souffrant de malformations.

Cette étude a montré des effets sur le métabolisme osseux en stimulant les ostéoblastes et ostéoclastes. Les vibrations provoqueraient une stimulation de l'activité oestoclastique par une augmentation de la libération du ligand RANKL.

Le ligand RANKL fait partie de la cascade de différenciation ostéoclastique en se liant au récepteur RANK sur les pré-ostéoclastes.

De nos jours les forces vibratoires sont de plus en plus utilisées par les praticiens afin d'accélérer le traitement et de diminuer la douleur causée par l'appareillage. Les vibrations sont appliquées de manière cyclique (quelques minutes par jour). AcceleDent® est le système le plus commercialisé aujourd'hui. Ce dispositif se porte 20 minutes par jour, et produit des vibrations de faible amplitude et de haute fréquence (0,25 N à 30 Hz).



Figure 43 : AcceleDent®

b- Le point sur la littérature :

Trente patients présentant des relations squelettiques initiales de classe I, un encombrement initial minimum-moderé (3-5 mm), traités jusqu'à la fin avec des gouttières transparentes et des vibrations à haute fréquence adjuvantes (groupe HFV) ou sans vibration (groupe témoin) ont été évalués. Les patients ont reçu l'instruction de hanger les gouttières dès qu'elles se détachent. Les modifications de la densité osseuse associées au traitement

CHAPITRE III : Les moyens d'accélération du traitement orthodontique

orthodontique ont été évaluées à l'aide de la tomographie à faisceau conique i-CAT (CBCT) et du logiciel In vivo Anatomage® pour quantifier la densité en unités Hounsfield (HU) entre les dents traitées dans 10 régions différentes. Les valeurs HU ont été moyennées et comparées à la ligne de base (T1) et entre les groupes au début de la rétention (T2).

Les résultats de cette étude ont démontré que les patients qui ont reçu des vibrations à haute fréquence en complément ont changé leurs gouttières plus rapidement et ont terminé leur traitement orthodontique plus vite que les témoins. L'intervalle moyen de changement de gouttière du groupe HFV pour avancer confortablement les gouttières était de $5,2 \pm 2,2$ jours, tandis que l'intervalle moyen de changement de gouttière du groupe témoin pour avancer confortablement les gouttières était de $8,7 \pm 1,2$ jours ($P = 0,0001$). La durée totale moyenne du traitement du groupe HFV était de 135 ± 27 jours, tandis que celle du groupe témoin était de 252 ± 59 jours ($P = 0,002$) (tableau 3)

Table 1
Aligner count, aligner interval, days in treatment and *P* value for Control and HFV groups

Variable	Control	HFV	<i>P</i>
Aligner Count (Mean)	29	26	0.22
Aligner Interval (Mean)	8.7±1.2	5.2±2.2	0.0001*
Treatment time in days (Mean)	252±59	135±27	0.002*

Tableau 3 : Nombre d'aligneurs, intervalle entre les aligneurs, nombre de jours de traitement et valeur P pour les groupes témoin et HFV (94)

Les os cranio-faciaux réagissent à la stimulation mécanique (4,5) En l'absence d'inflammation induite par l'orthodontie, les vibrations ont de puissants effets anabolisants. Alikhani a étudié systématiquement les vibrations en l'absence de force orthodontique, à 30 Hz, 60 Hz, 100 Hz et 200 Hz par rapport à des témoins non vibrés. La production d'ostéoblastes a augmenté de manière significative pour toutes les fréquences, avec des augmentations du volume de l'os alvéolaire de 10 %, 17 %, 19 % et 12 %, respectivement, par rapport à des animaux non traités. Au niveau cellulaire, cet effet anabolisant accru de la stimulation mécanique peut être attribué à l'inhibition par la contrainte du RANKL induit par les cellules stromales osseuses.

CHAPITRE III : Les moyens d'accélération du traitement orthodontique

La prolifération des ostéoclastes entraîne des réductions localisées de la densité osseuse nécessaires au mouvement des dents, et il a été démontré qu'elle est régulée à la hausse par les cellules ligament parodontal en réponse à une force de compression statique.

Yamamoto a démontré que les vibrations à haute fréquence augmentaient la prolifération des ostéoclastes par rapport aux témoins non vibrés uniquement lorsqu'elles étaient appliquées en complément d'une force statique continue.

Leethanakul, et al, 2016 ont démontré dans un essai randomisé, contrôlé et à bouche ouverte que la vibration à haute fréquence (125 Hz) adjointe à la force orthodontique accélérerait le mouvement des dents et s'accompagnait d'une augmentation des niveaux de cytokine IL-1b .La cytokine IL-1b est impliquée dans l'activation, la différenciation et la survie des ostéoclastes, ce qui favorise l'accélération du mouvement des dents. Dans leur essai, la vibration à haute fréquence a été étudiée en tant qu'adjuvant au traitement par appareil fixe, et les sujets expérimentaux ont montré un taux de mouvement des dents 62 % plus rapide que les sujets témoins.

Alikhani et al ont étudié systématiquement les vibrations en présence d'une force orthodontique (état inflammatoire aseptique) à 30 Hz, 60 Hz et 120 Hz par rapport à des témoins non vibrés. Les résultats ont montré une corrélation directe entre la fréquence et le mouvement des dents. Plus la fréquence augmentait, plus le mouvement des dents augmentait, 120 Hz produisant la plus grande amplitude de mouvement des dents, statistiquement significative par rapport aux sujets témoins et aux sujets à 30 Hz. La force d'accélération g a été étudiée simultanément et s'est avérée être une composante critique d'un profil de vibration catabolique. 120 Hz à 0,01g n'a pas déclenché la cascade catabolique et n'a pas accéléré le mouvement des dents, alors que 120 Hz à 0,05 g est devenu catabolique, augmentant les cytokines, les ostéoclastes et accélérant de manière significative le mouvement des dents. Par conséquent, l'augmentation du mouvement des dents n'est pas seulement corrélée à la fréquence, elle dépend d'une force d'accélération g cliniquement pertinente du dispositif de vibration pour augmenter les cytokines et la prolifération des ostéoclastes qui s'ensuit. En outre, l'application concomitante d'AINS a permis de bloquer cet effet catabolique, ce qui démontre que l'impact des vibrations sur le mouvement des dents est sensible à la fréquence, qu'il dépend de l'accélération (force g) et qu'il ne se produit qu'en présence d'un état inflammatoire de base, comme c'est le cas lors de l'application de forces orthodontiques. La facilité d'utilisation et l'absence d'effets secondaires connus font que les obstacles à l'intégration du dispositif à haute fréquence sont faibles.

La vibration à haute fréquence, en complément des aligneurs transparents, a permis des changements d'aligneurs précoces qui ont raccourci la durée du traitement dans les cas d'encombrement minimal à modéré. Au début de la rétention, le groupe HFV a montré une augmentation statistiquement significative par rapport à la densité osseuse avant traitement, alors que les sujets de contrôle n'ont montré aucun changement significatif par rapport à la densité osseuse avant traitement. L'utilisation d'un dispositif de vibration à haute fréquence de 120 Hz pendant un traitement orthodontique utilisant des gouttières transparentes a accéléré de manière significative le changement de gouttière et les mouvements dentaires correspondants.

2.1.3. Le champ électromagnétique pulsé : (72)

a- Le concept :

Certaines recherches ont étudié l'efficacité de l'application d'un courant électrique continu sur le taux de déplacement dentaire. Ces recherches s'inspirent de résultats obtenus en orthopédie chirurgicale dans la cicatrisation des fractures des os longs. Cette technique consiste à utiliser un courant continu à l'anode aux sites de pression et à la cathode aux sites de tension (7 Volts), ce dispositif, placé au plus proche de la dent à déplacer, entrainerait une induction du remodelage osseux en stimulant des groupes d'enzymes.



Figure 44 : Champ électromagnétique pulsé (72)

b- Le point sur la littérature :

La littérature est peu fournie sur le sujet. Cette technique a été testée le plus souvent sur le modèle animal, le dispositif étant encombrant et difficilement utilisable sur l'homme.

En 2010, Showkatbakhsh et al. ont réalisé une étude visant à évaluer l'efficacité de l'utilisation du champ électromagnétique pulsé sur le taux de déplacement dentaire. Dix patients ont été affectés à l'étude, le traitement orthodontique consistait en l'extraction des premières prémolaires. Il a été réalisé grâce à un appareil multi-attaches. La rétraction canine a été réalisée grâce à des ressorts. D'un côté la canine recevait un champ électromagnétique pulsé (grâce à un circuit avec une pile, le générateur était intégré dans un appareil amovible) censé accélérer le mouvement, de l'autre côté seul le ressort était présent. Les résultats montrent une rétraction canine plus importante avec le dispositif en place ($p \leq 0,001$).

Cette étude suggère que l'application d'un champ électromagnétique pulsé accélère le mouvement dentaire. Peu d'études concernent les effets du champ électromagnétique pulsé en orthodontie, probablement lié à l'inconfort de ce système.

2.1.4. La photothérapie : (6) (10) (12) (24) (36) (95)

a- Le concept :

La photothérapie peut être appliquée à des fins thérapeutiques pour accélérer le traitement orthodontique soit sous forme de lasers (traitement au laser à faible intensité «LLLT») soit avec des diodes électroluminescentes (LED). Les deux types d'applications utilisent une longueur d'onde proche de l'infrarouge d'environ 600-1000 nm, avec une gamme de 730-850 nm étant considérée comme la plus appropriée pour les effets de photobiostimulation. Elle a pour effet d'augmenter la prolifération cellulaire, la synthèse de collagène, la libération de facteurs de croissance et autres cytokines stimulant l'activité des ostéoblastes et fibroblastes intervenant dans le remodelage osseux.

La photobiomodulation (PBM) ou la biostimulation est employée pour décrire un traitement utilisant une irradiation avec une faible intensité de puissance afin que les effets soient une réponse à la lumière et non dus à la chaleur, ce sont les LED ou Light emitting diodes.

b- Le point sur la littérature :

L'effet de la photobiomodulation est décrit comme une stimulation de l'activité cellulaire, Au niveau biomoléculaire, cet effet bénéfique s'expliquerait du fait que certaines ondes électromagnétiques de la lumière induisent une augmentation de l'ATP produit par les mitochondries. Localisée dans la membrane mitochondriale interne, l'enzyme Cytochrome C oxydase (COX) se comporterait comme un photoaccepteur puisqu'elle multiplie par deux sa production d'ATP sous l'effet de la lumière infrarouge. Or, il est prouvé que de plus grandes quantités d'ATP permettent de soutenir l'effort mitotique des cellules, ce qui est aussi valable lors de la multiplication cellulaire qui accompagne la phase de mouvement orthodontique.

L'augmentation de la production d'ATP augmente l'activité métabolique intracellulaire et le remodelage des tissus parodontaux. Pendant le mouvement des dents, une augmentation de l'ATP peut aider les cellules à accomplir leurs tâches plus rapidement ou que le " turnover " soit plus efficace, ce qui pourrait mener à un processus de remodelage accru : mouvement accéléré des dents. Les auteurs ont supposé que la PBM augmente l'activité vasculaire dans le site ciblé qui est un déterminant du remodelage tissulaire.

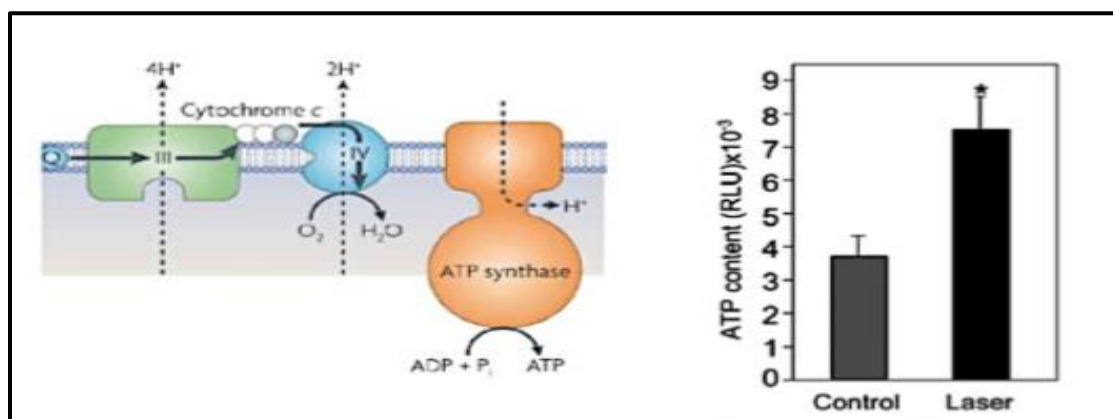


Figure 45: L'enzyme Cytochrome C oxydase produit de l'ATP. Selon Oron U et Al, cette production est doublée sous l'effet de la photobiomodulation. (24)

KAU et coll. ont rapporté que la photo-bio-modulation avec un dispositif à DEL, qui produisait une lumière proche infrarouge d'une longueur d'onde de 850 nm, augmentait cliniquement les taux de mouvement des dents dans la phase d'alignement du traitement orthodontique¹. Sur un échantillon de 90 patients en phase d'alignement et en utilisant des lampes LED Orthopulse® d'une longueur d'onde 850 nm, a observé un MDP moyen de 1,12mm/semaine contre 0,49mm/semaine dans le groupe contrôle soit littéralement plus de 120 % de MDP.

SHAUGHNESSY et coll. ont voulu vérifier si le PBM intra-buccal augmentait le taux d'alignement des dents et réduisait le temps nécessaire pour résoudre l'encombrement dentaire antérieur. L'étude consistait à choisir dix-neuf sujets présentant une malocclusion de classe I ou II qui ne nécessite aucune extraction. Le groupe expérimental a reçu un traitement quotidien de PBM avec un dispositif à DEL intra-oral pendant le traitement orthodontique, tandis que le groupe témoin n'a reçu qu'un traitement orthodontique conventionnel. Le dispositif PBM a exposé le côté buccal des gencives à la lumière proche infrarouge avec une longueur d'onde continue de 850 nm, générant une densité énergétique quotidienne moyenne de 9,5 J/cm².

Le résultat était que le taux d'alignement moyen pour le groupe PBM était significativement plus élevé que celui du groupe témoin et que le temps de traitement a été significativement plus court pour le groupe PBM, qui a atteint l'alignement en 48 jours, tandis que le groupe témoin a pris en moyenne 104 jours.

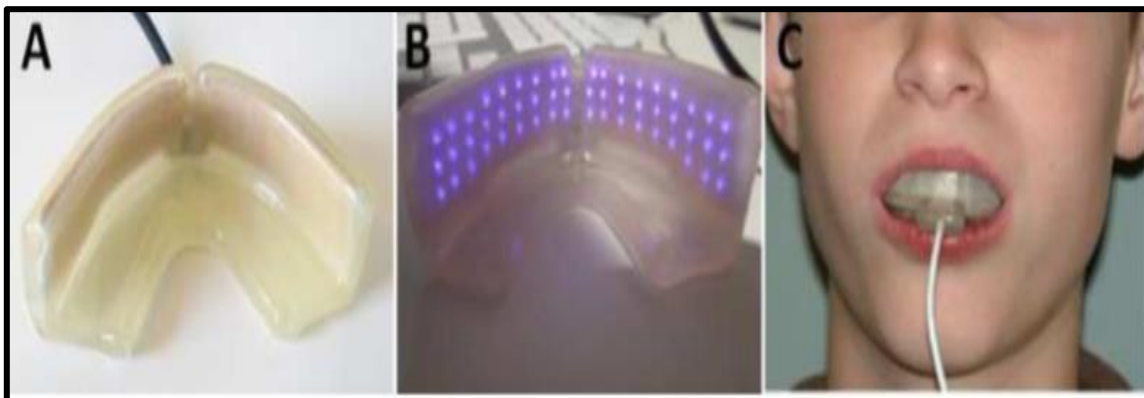


Figure 46 : OrthoPulse™ (95)

Panneau A : affiche une vue de l'arrière de l'appareil. Panneau B : met en valeur la matrice de LED lorsque l'appareil est allumé. Panneau c : fournit une vue du dispositif in situ.

OrthoPulse™ consiste en un appareil est un appareil intra-oral connecté à un contrôleur portable. Le contrôleur abrite le microprocesseur, l'écran LCD et les commandes du logiciel par menu. Testé cliniquement et qui utilise une lumière pulsée sûre, proche de l'infrarouge à basse intensité, afin d'accélérer en douceur le mouvement orthodontique. L'embouchure est faite d'un circuit flexible de réseaux de LED incorporés dans de la silicone de qualité médicale. La lumière est délivrée à travers le tissu mou alvéolaire buccal dans l'alvéole. Toute chaleur créée comme sous-produit de la génération de la lumière a été surveillée et maintenue en dessous des seuils des normes de sécurité des dispositifs électro-médicaux.

2.2. Les stimuli chimiques :

2.2.1. Systémique :

a - Hormone parathyroïdienne : (51) (81)

- **Définition :**

La parathormone (PTH) est une hormone endogène peptidique, hypercalcémiantes composée de 84 acides aminés, sécrétée par les glandes parathyroïdes, La PTH joue un rôle clé dans la régulation du métabolisme phosphocalcique.

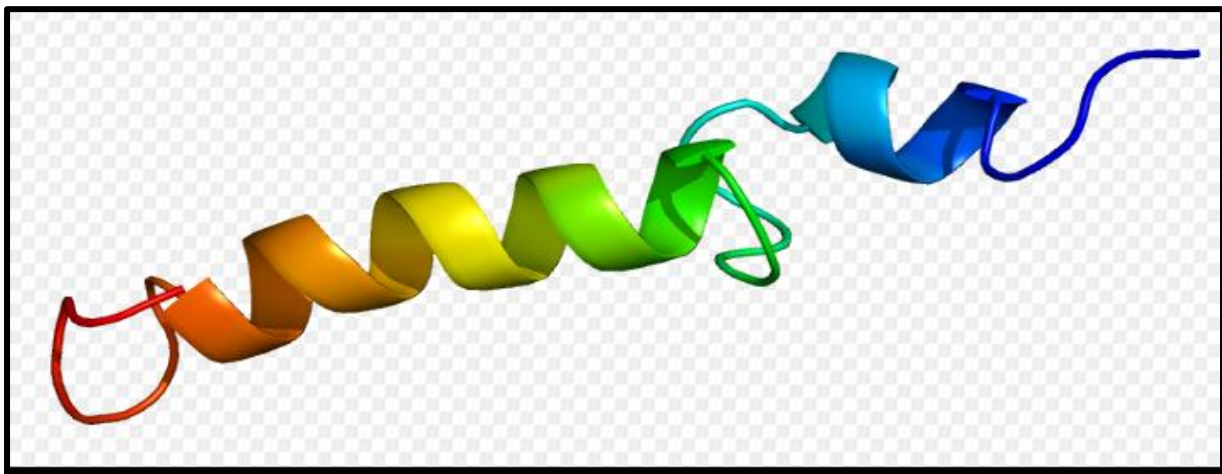


Figure 47 : Formule moléculaire de parathormone

- **Mode d'action :**

C'est la principale hormone régulant le remodelage osseux et l'homéostasie du calcium sérique en stimulant à la fois la résorption osseuse et la réabsorption du calcium dans les reins les intestins.

Au niveau de l'os, elle provoque une augmentation de la concentration de calcium dans le sang en se liant aux ostéoblastes, stimulant l'expression de RANKL par ces derniers et entraînant ainsi une résorption osseuse.

Au niveau du rein, elle augmente l'excrétion des phosphates et stimule la transformation de la vitamine D.

- **Effet de parathormone sur le déplacement dentaire :**

Des études ont été menées dans le but de prouver l'effet accélérateur d'une suppléance en PTH sur le déplacement dentaire. En effet la PTH modifie la densité

osseuse, donc elle augmenterait le déplacement dentaire (cette augmentation est dose dépendante)

Une élévation aigue de PTH sur une très courte période créerait un anabolisme osseux (Potts JT 2007). En effet une courte cure de PTH augmente la masse osseuse, sa densité et sa rigidité.

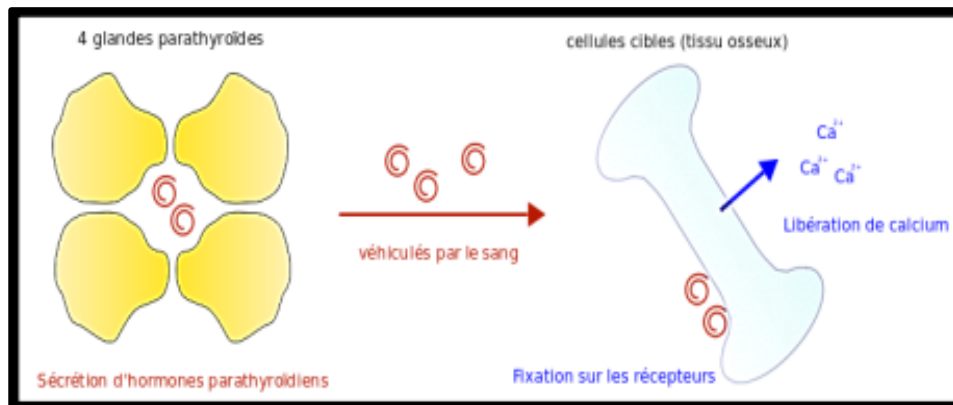


Figure 48 : Rôle des PTH dans le déplacement dentaire (81)

- **Analyse de la littérature :**

Les effets de la PTH sur les mouvements orthodontiques ont été étudiés chez le rat par Soma, Il a montré que l'administration topique et systémique de parathormone augmente significativement les mouvements dentaires orthodontiques de façon dose dépendante en activant la résorption osseuse. Cependant ces effets sont constatés uniquement lorsque la parathormone est délivrée de façon continue par le biais de dispositifs à libération prolongée. Dans leur expérience, la substance administrée était de la PTH totale et les dosages utilisés allaient de 0,1 à 1mg/kg/jour

Le résultat sur modèle animal serait d' 1,6 fois le taux habituel de MDP. Au contraire, si la PTH est dissoute dans une solution saline, elle perd son efficacité.

Il semble plus intéressant d'administrer la PTH de manière localisée car elle crée une meilleure résorption osseuse (Takano-Yamamoto T R. 1990). Le dispositif idéal pour administrer la PTH semble être un dispositif à libération lente (de type injection automatique quotidienne) dissout dans un gel à libération prolongée injecté en sous périosté dans le palais.

Une autre étude clinique réalisée en 2013 par Li *et al* a montré que l'administration systémique de PTH accélérerait le mouvement dentaire. Le but de l'étude était d'analyser l'effet de l'injection de la parathyroïde sur le mouvement dentaire chez les rats. Soixante rats ont été inclus et divisés en 2 groupes ; les premières molaires maxillaires droites doivent être mésialer grâce à un ressort fermé en nickel-

titane. Le groupe expérimental a reçu des injections de PTH (4mg pour 100g de poids par jour) pendant 12 jours, et le groupe témoin a reçu des injections placebo. Les résultats ont montré que le taux de mouvement dentaire était significativement augmenté ainsi que le taux d'ostéoclastes et l'expression de l'activateur du récepteur Kappa B (RANKL) dans le groupe expérimental. La littérature se compose d'études réalisées sur l'animal, les résultats de ces études sont difficilement transposables chez l'homme. Des essais cliniques randomisés sur les patients sont nécessaires.

b- vitamine D : (23) (29) (60) (65)

- **Définition :**

La vitamine D doit être considérée comme une hormone de Synthèse dermique, Son absorption dans l'organisme se fait majoritairement via les rayons ultraviolets (UV) émis par le soleil. Elle est véhiculée par le sang, puis est transformée par le foie et le rein en métabolite actif. Le calcitriol de formule 1,25-(OH) 2D3 agit sur des récepteurs spécifiques pour augmenter la calcémie.

- **Mode d'action :**

La vitamine D régule la concentration de phosphate et de calcium en induisant leur absorption intestinale et leur réabsorption dans les reins.

La vitamine D inhibe la parathormone et favorise l'apposition osseuse en stimulant la différenciation et la maturation des ostéoblastes.

La vitamine D est prescrite sous forme d'ergocalciferol (vitamine D2) ou de cholecalciferol (vitamine D3) et peut être administrée par voie orale, par injection intramusculaire ou encore appliquée sous forme de pommade en fonction de la maladie pour laquelle elle est prescrite.

La vitamine D est utilisée dans la prévention et le traitement des carences en vitamine D. L'indication principale des différentes formes de vitamine D est le traitement préventif et curatif du rachitisme chez l'enfant et de l'ostéomalacie chez l'adulte. La vitamine D3, est également utilisée en application locale dans le traitement du psoriasis.

- **Conséquences cliniques en orthodontie :**

A dose physiologique, la vitamine D agit sur les ostéoblastes et favorise la formation osseuse. Cependant, la supplémentation en vitamine D augmente l'expression de RANK-L par les ostéoblastes qui provoque la différenciation osteoclastique et par conséquent augmente la résorption osseuse.

Ainsi la supplémentation en vitamine D de patient subissant un traitement orthodontique pourrait entraîner une accélération des mouvements orthodontiques et une diminution du temps de traitement.

- **Analyse de la littérature :**

Influence de la vitamine D sur les déplacements dentaires orthodontiques : Collins et al. ont utilisé du calcitriol dissous dans du DMSO (diméthylsulfoxyde) un composé qui pénètre facilement dans les membranes cellulaires et qui a un effet anti-inflammatoire. Pour voir l'action de cette vitamine sur des rats.

Les membranes cellulaires, et qui a un coefficient de solubilité élevé pour la vitamine D - administré quotidiennement dans le périoste.^{16, 17} Après 3 semaines, l'amplitude de rétraction des canines était supérieure de 60 % à celle du groupe témoin.

En 2004, une étude publiée par Kawakami et al. met en évidence l'effet accélérateur de mouvement dentaire de la vitamine D3 sur le rat.

En 2014, Camacho réalise une revue de littérature sur l'accélération du mouvement dentaire ; le niveau de preuve le plus important concernant les articles évaluant l'effet de la vitamine D3 est celui de Blanco et al. dont l'étude avait pour objectif de déterminer si une dose supplémentaire de vitamine D3 (0,25 µg) pouvait accélérer le mouvement dentaire orthodontique sur une période de 60 jours. Cet essai clinique a été mené sur 20 patients, 10 patients recevaient une dose journalière de vitamine D3 (0,25 µg) les 10 autres patients faisaient partis du groupe contrôle. Au bout de 60 jours de rétraction canine dans les deux groupes (avec une force de 75g pour chaque groupe), les auteurs ont montré un recul canin plus important pour le groupe avec injection par rapport au groupe témoin ($p \leq 0,05$). Selon cette étude le mouvement dentaire est plus rapide grâce à l'injection locale de vitamine D3 .

En 2016, Ciur et al. réalisent une étude clinique dont les objectifs sont d'évaluer l'effet de l'injection locale de la vitamine D3 sur le mouvement dentaire et d'en évaluer les effets secondaires sur les racines. Cette étude a été réalisée en « split mouth design », la canine témoin était traitée de manière conventionnelle tandis que la controlatérale bénéficiait d'une injection intraligamentaire de vitamine D3 en plus du traitement conventionnel.

Les résultats ont montré des mouvements dentaires plus importants de 70% du groupe expérimental par rapport au groupe témoin ($p \leq 0,05$). L'injection intraligamentaire de vitamine D3 semble augmenter le taux de mouvement dentaire et ne provoquer aucun effet sur les racines.

L'injection locale de vitamine D3 serait un bon moyen d'augmenter le taux de mouvement dentaire (en particulier pour la rétraction canine) selon ces études. Cependant, elles

ont un faible niveau de preuve. Des études supplémentaires seraient utiles afin de projeter cette application à la pratique clinique.

c- Les corticostéroïdes : (11) (38) (57) (60) (72)

- **Définition :**

Les corticoïdes sont des analogues des hormones stéroïdiennes naturelles secrétées chez les êtres humains par le cortex de la glande surrénale. Ils contribuent à la régulation des fonctions essentielles du corps, permet de combattre les allergies, le stress physique et les troubles du système immunitaire

Les ostéoblastes et ostéoclastes possèdent des récepteurs aux glucocorticoïdes et une sécrétion excessive de cortisol ou une prise importante d'anti-inflammatoires stéroïdiens entraîne une ostéoporose.

Ces observations suggèrent que les corticoïdes sont impliqués dans les processus de remodelage osseux.

- **Influence des corticoïdes sur les déplacements dentaires orthodontiques :**

Ashcraft a étudié chez le lapin l'effet d'une ostéoporose induite par les corticoïdes sur les mouvements orthodontiques. Pour cela, il a soumis des lapins à des doses élevées (15mg/kg) de cortisone pendant 18 jours et leur a installé un ressort hélicoïdal exerçant une force de 100g en tension entre les incisives et les molaires. Les résultats montrent que les déplacements dentaires obtenus chez les lapins sous corticoïdes sont trois à quatre fois plus importants que ceux du groupe témoin. Lors du retrait du ressort, l'auteur mesure la récurrence et note qu'elle est plus importante pour les lapins traités ; le résultat est moins stable probablement à cause d'un manque d'apposition osseuse du côté en tension.

En 2009, Gonzales à son tour a étudié l'effet de faible et de forte doses (0,13 mg/kg) et (0,67mg/kg) de prednisolone sur les mouvements orthodontiques du rat. Une force de 50g est exercée sur les premières molaires des rats durant 14 jours. Dans les deux groupes ayant reçu de la prednisolone à faible ou à forte dose, les déplacements dentaires sont significativement diminués par rapport au groupe témoin.

L'effet de la prednisolone a également été testé chez le rat par Ong. Dans cette étude, une faible dose de corticoïde (1mg/kg/jour) est administrée aux rats pendant 12 jours alors

CHAPITRE III : Les moyens d'accélération du traitement orthodontique

qu'ils portent un dispositif orthodontique exerçant une force de 30g sur leur première molaire maxillaire. L'auteur observe une diminution du nombre d'ostéoclastes du côté en pression sans pour autant observer de différence dans les déplacements dentaires. Cela suggère que les corticoïdes agissent sur l'activité ostéoclastique en l'inhibant mais que de faibles doses n'interfèrent pas avec les mouvements orthodontiques.

En 2004, Kalia réalise une étude afin de comparer les effets d'une corticothérapie aigue et ceux d'une corticothérapie au long cours sur les mouvements orthodontiques de rats. Tous les rats de l'étude portent un dispositif orthodontique exerçant une force de 25g sur leur première molaire maxillaire pendant trois semaines. Un groupe reçoit 8mg/kg/jour de méthylprednisolone pendant les trois semaines du traitement, ce qui est considéré comme une administration à court terme. Un autre groupe reçoit cette dose de méthylprednisolone 4 semaines avant la mise en place de l'appareil puis pendant le traitement soit 7 semaines au total, il s'agit cette fois d'une administration au long cours.

Les mesures effectuées dans cette étude montrent une augmentation significative des déplacements dentaires dans le groupe ayant subi une corticothérapie chronique. La corticothérapie de courte durée n'affecte pas de manière significative les mouvements orthodontiques.

L'augmentation des mouvements dentaires lors de la corticothérapie chronique s'accompagne d'une augmentation de la résorption osseuse du côté en pression qui témoigne d'une accélération du turnover osseux. Ces effets peuvent être dus à une hyperparathyroïdie secondaire induite par la prise au long cours de corticoïdes.

Il semble que de faibles doses de corticoïdes administrées à court terme entraînent une diminution du remodelage osseux et un ralentissement des mouvements orthodontiques peut être remarqué car ces médicaments diminuent fortement l'inflammation, et chez ces patients, il serait préférable de débiter le traitement orthodontique à la fin de la corticothérapie, les activations devront être minimales et les rendez-vous plus espacés en attendant la fin de la prise des corticoïdes.

La corticothérapie chronique quant à elle, semble accélérer les déplacements dentaires mais les résultats obtenus sont moins stables et le risque de récurrence est augmenté. Chez ces patients, le remodelage osseux est accéléré, les forces orthodontiques pourraient donc être réduites et les contrôles devraient être plus fréquents.

2.2.2. Locales :

a- Prostaglandine : (60)

Les prostaglandines sont des médiateurs de l'inflammation et sont impliquées dans la transmission et la transformation du stress mécanique en signal biochimique lors des mouvements dentaires orthodontiques. De plus les prostaglandines stimulent la résorption osseuse en augmentant le nombre d'ostéoclastes.

Ces propriétés ont attiré l'attention de certains chercheurs qui ont pensé que l'administration de prostaglandines au cours d'un traitement orthodontique pourrait accélérer la résorption osseuse et les mouvements dentaires et ainsi diminuer la durée du traitement.

De nombreuses études ont montré que l'administration topique ou systémique de prostaglandines accélère les déplacements dentaires

Bien que l'administration systémique semble plus efficace, les auteurs rapportent des effets indésirables tels que le risque de phlébite, des irritations et une élimination rapide des prostaglandines par le foie. L'administration locale de prostaglandines serait donc préférable bien qu'elle puisse augmenter la sensibilité des récepteurs à la douleur. Cependant, Leiker met en évidence que l'apport topique de prostaglandines augmente les résorptions radiculaires de façon dose-dépendante et que ces résorptions sont d'autant plus importantes que les injections sont répétées. Il observe également que les déplacements dentaires sont augmentés de façon similaire à la suite d'une injection unique ou d'injections multiples. Il suggère donc que l'administration de prostaglandines devrait se faire par une injection unique de faible concentration afin d'augmenter les déplacements dentaires en minimisant les résorptions radiculaires. Seifi note également une augmentation des résorptions radiculaires suite à l'administration topique de prostaglandines. Il décide alors de tester l'administration concomitante de gluconate de calcium et de prostaglandines. Il observe que l'addition de calcium réduit légèrement les mouvements dentaires mais qu'ils restent tout de même significativement plus importants que dans le groupe ne recevant pas de prostaglandine. De plus les rats ayant reçu les prostaglandines et le gluconate de calcium ne présentent pas plus de résorptions radiculaires que les rats du groupe témoin. Ainsi l'auteur suggère que l'administration de prostaglandines couplée avec du gluconate de calcium pourrait augmenter les déplacements dentaires tout en limitant les résorptions radiculaires.

b- Ligand RANKAL: (20) (71) (72)

- **Définition :**

Le ligand RANKL, est une cytosine sécrétée par les cellules de la moelle osseuse : les ostéoblastes et les ostéocytes.

RANKL joue un rôle important dans la différenciation ostéoclastique, donc dans le remodelage osseux. Il est le ligand du récepteur RANK qui est situé sur les ostéocytes.

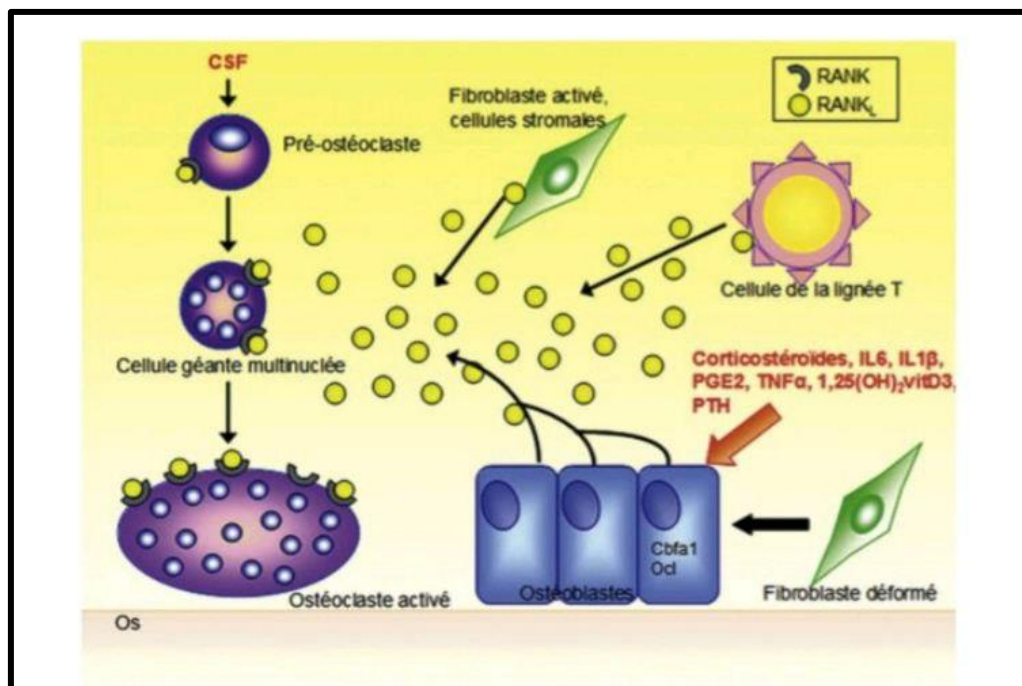


Figure 49: la différenciation ostéoclastique et le RANKL. (12)

- **Mode d'action :**

Le ligand RANKL est sécrété par les ostéoblastes pour permettre la liaison au RANK à la surface des cellules ostéoclastes en développement, permettant l'activation, la différenciation et la survie des ostéoclastes.

L'administration locale de RANKL augmente la production d'ostéoclastes du côté compression du mouvement dentaire par rapport au contrôle, ce qui correspond à une augmentation du mouvement dentaire. RANKL est donc un facteur d'accélération clé dans le mouvement orthodontique agissant en induisant une résorption osseuse continue du côté compression du mouvement dentaire.

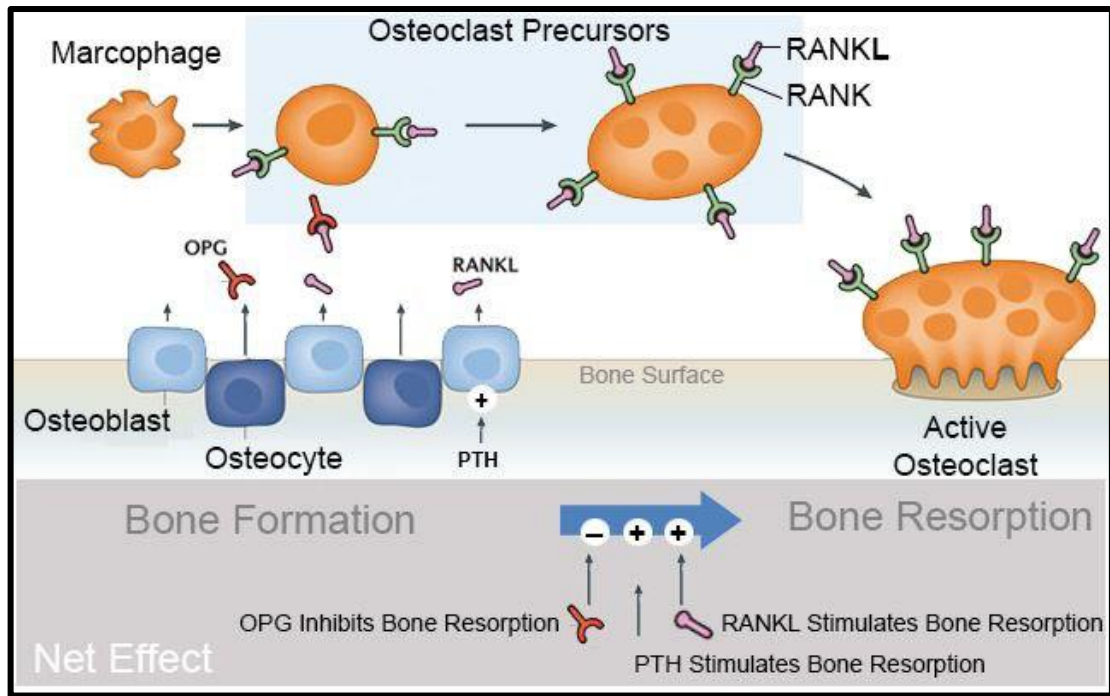


Figure 50 : mode d'action de RANKL (84)

- **Point de la littérature :**

Aujourd'hui, une recherche japonaise coordonnée par l'Université médicale et dentaire de Tokyo (TMDU) a révélé que les ostéocytes expriment principalement RANKL et sont la clé du remodelage de l'os entourant les dents lors du mouvement dentaire orthodontique.

L'importance de RANKL dans le mouvement dentaire orthodontique a d'abord été examinée à l'aide d'un modèle de mouvement dentaire orthodontique dans lequel des ressorts hélicoïdaux ouverts ont été insérés entre les dents de souris pour déplacer les premières molaires. L'injection d'un anticorps neutralisant contre RANKL a réduit le mouvement dentaire. Donc le RANKL a un rôle très important dans l'accélération du mouvement.

La signification physiologique de l'ostéocyte RANKL in vivo a été confirmée à l'aide de souris de suppression de RANKL spécifiques aux ostéocytes. Le mouvement dentaire orthodontique a été significativement supprimé chez ces souris avec une diminution du nombre d'ostéoclastes sur la surface osseuse autour de la dent où une force mécanique a été appliquée.

Ainsi, il est démontré que les ostéocytes ont un rôle important en tant que source majeure de RANKL lors du mouvement dentaire orthodontique.

c-Injection de relaxine : (72) (100)

- **Définition :**

La relaxine est une hormone peptidique qui régit de nombreuses actions biologiques, notamment les effets anti-fibrotiques, vasodilatateurs, angiogéniques, anti-inflammatoires, anti-apoptotiques et protecteurs d'organes sur divers tissus.

La relaxine appartient à la superfamille de l'insuline (elle est un analogue de l'insuline). Il s'agit d'une hormone ovarienne qui stimule les activités ostéoclastiques et ostéoblastiques ainsi que le renouvellement du tissu conjonctif.

Récemment, l'hormone relaxine a été utilisée chez le rat pour augmenter le taux de mouvement des dents.

Elle stimule le métabolisme osseux en induisant l'ostéoclastogenèse par l'activation du facteur nucléaire (RANKL) activant le récepteur RANK.

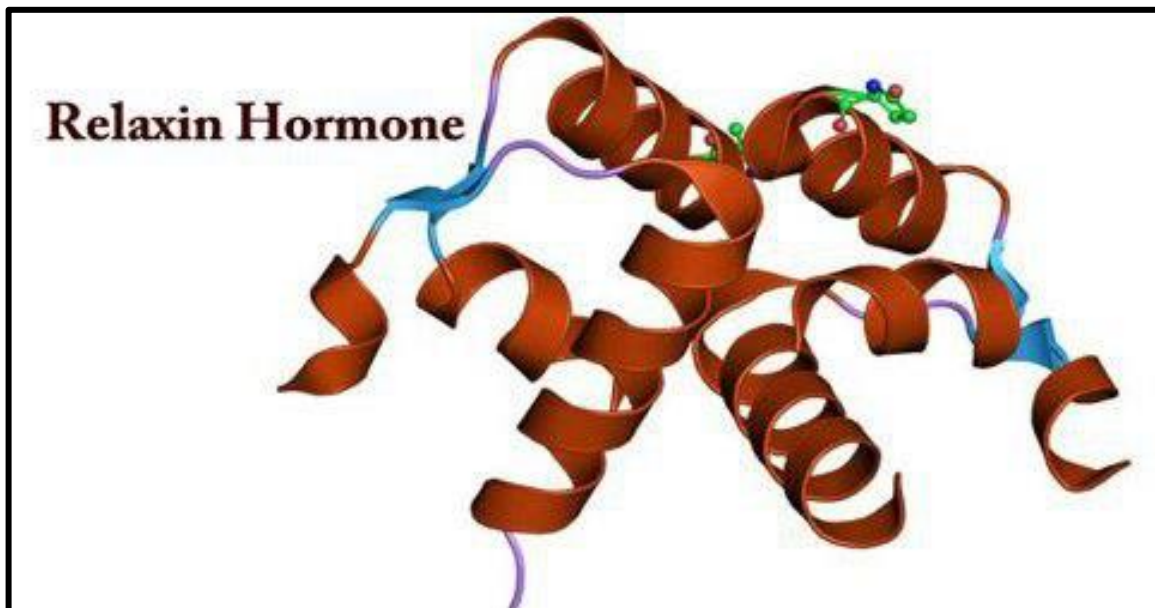


Figure 51 : formule moléculaire de Relaxine

- **Analyse de la littérature :**

Une étude réalisée en 2011 avait pour but de déterminer les effets de la relaxine sur la récurrence du traitement orthodontique et sur le remodelage du tissu parodontal. L'étude a été réalisée chez des rats qui ont reçu un appareil orthodontique destiné à mobiliser les molaires avec une force de 10g. Une injection de relaxine était réalisée au quatorzième jour à une dose de 500 mg/ml pendant une semaine. Les résultats ont été évalués par tomodynamométrie et

immunofluorescence. La rechute dans le groupe recevant de la relaxine était significativement réduite en comparaison au groupe témoin, aussi grâce à l'immunofluorescence la relaxine a été montrée présente dans le logement parodontale ce qui prouverait son effet modulateur du métabolisme collagénique. La relaxine pourrait donc être un bon outil pour prévenir la rechute après traitement orthodontique.

La relaxine humaine a été administrée à de jeunes rats soit par des mini-pompes (groupe P) soit par des injections sous-cutanées (groupe I). Les rats témoins ont reçu des implants de pompe contenant un placebo (groupe C). Le jour 0 était le jour de la mise en place et de l'activation de l'appareil orthodontique pour tirer les premières molaires supérieures bilatérales vers l'avant, et le jour 14 était le point final. Des radiographies céphalométriques (trois expositions répétées) ont été prises à 0, 3, 5, 7, 10 et 14 jours. La longueur totale des trois segments molaires maxillaires et l'espace entre les première et deuxième molaires ont été mesurés sous un microscope. Les deux groupes P et I ont montré un mouvement dentaire rapide au jour 3. Le mouvement a ralenti, mais il a quand même augmenté progressivement dans le groupe P tout en diminuant dans le groupe I par la suite. Les dérives latérales simultanées des dents vers le côté vestibulaire étaient plus petites dans les deux groupes P et I.

La littérature est pauvre en articles concernant l'efficacité de l'injection de Relaxine pour accélérer le mouvement dentaire.

d- Ostéocalcine : (53) (98)

- **Définition :**

L'ostéocalcine (OC) est la protéine matricielle non collagénique la plus abondante dans l'os. Elle est composée de 46 à 50 acides aminés, contenant 2 à 3 résidus carboxyglutamiques.

- **Mode d'action :**

En raison de sa forte capacité à s'associer au Ca^{2+} et à l'hydroxyapatite, l'OC est un régulateur négatif de l'apposition minérale et de la formation osseuse, En outre, il est proposé que l'OC soit un chimio-attracteur pour les ostéoclastes progéniteurs/matures.

- **Point de la littérature :**

L'effet de l'administration locale d'ostéocalcine (OC) sur le mouvement expérimental des dents a été examiné chez les rats. La première molaire maxillaire a d'abord été déplacée dans le sens mésial avec une bande élastique.

33 rats wistar males âgés de 5 semaines répartis en 5 groupes, le groupe témoin n=9 a reçu une solution saline tamponnée au phosphonate (PBS), les groupes expérimentaux (n=6 de chaque groupe) ont été injectés avec du OC de rat purifié à des doses de 0.01, 0.1, 1 et 10 µg, respectivement. L'injection dans le site de bifurcation palatine de la première molaire L'injection a été répétée une fois par jour du jour 0 au jour 3. Le mouvement des dents a été évalué quotidiennement en mesurant la distance inter-cuspidienne entre la première et la deuxième molaire sur un modèle en plâtre précis.

Résultat :

Mouvement des dents un jour après l'insertion de la bande élastique entre la première et la deuxième molaire, d'ostéocalcine a provoqué une augmentation significative du mouvement des dents. Le groupe ayant reçu l'injection d'ostéocalcine 1 µg a montré un mouvement significatif des dents tout au long de la période d'observation ($p < 0,05$). Dans le groupe ayant reçu une injection de 10 µg d'ostéocalcine, le mouvement des dents a eu tendance à augmenter, mais l'augmentation était statistiquement insignifiante jusqu'au jour 3. L'administration répétée d'ostéocalcine (0,1 à 10 µg) a entraîné un déplacement significatif des dents au jour 4 ($p < 0,05$). Le déplacement maximal des dents a été observé dans le groupe ayant reçu une injection d'ostéocalcine de 1 µg.

L'administration locale d'ostéocalcine de rat a stimulé l'apparition des ostéoclastes sur la surface de l'os alvéolaire du côté sous pression pendant le déplacement orthodontique des dents chez les rats. Cela a entraîné une augmentation du mouvement des dents.

e-Oxyde nitrique : (67) (69) (77) (96)

- **Définition :**

Le monoxyde d'azote, ou oxyde nitrique (NO), est un médiateur paracrine synthétisé par les cellules endothéliales et par de nombreux autres types cellulaires. Il s'agit d'une molécule à courte durée de vie qui joue un rôle clé dans la régulation de certaines fonctions des systèmes nerveux, de défense, respiratoire, circulatoire et reproducteur. Il est à la fois un puissant vasodilatateur nitro-endogène, un neuromédiateur, une molécule cytotoxique et cytostatique, et un agent oxydant. Il joue également un rôle important dans le renouvellement osseux et la régulation du flux sanguin pulpaire.

- **Mode d'action :**

Le NO peut être libéré par de nombreuses cellules En tant que neuromédiateur et En tant qu'hormone locale Par les plaquettes, les ostéoblastes et ostéoclastes, les macrophages et neutrophiles, les fibroblastes. NO est synthétisé à partir de L -arginine et de l'oxygène moléculaire (O₂) par une famille d'enzymes « les NO synthases ». Enzyme également responsable de la synthèse de la L-citrulline.il joue un rôle clé dans la formation et la résorption osseuse.

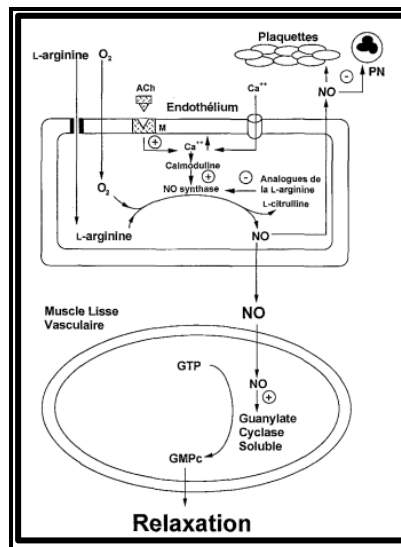


Figure 52 : Biosynthèse et actions du NO (4)

- **Oxyde nitrique et traitement orthodontique :**

Le déplacement orthodontique des dents est un processus dans lequel le tissu parodontal et l'os alvéolaire sont remodelés sous l'effet des forces orthodontiques. Des preuves de plus en plus nombreuses ont indiqué que le NO est un médiateur biochimique important dans la réponse de tissu parodontal, La guanosine mono phosphate cyclique (ou GMPc), sont les médiateurs des signaux mécaniques pendant le remodelage osseux lié à l'orthodontie, Le NO a un effet régulateur sur les activités cellulaires et les états fonctionnels des (ostéoclastes, ostéocytes, fibroblastes) du ligament parodontal impliqués dans le mouvement orthodontique des dents. Des variations des niveaux d'expression de la NO synthase (NOS) et de la production de NO dans les tissus parodontaux ou fluide gingival (FG) ont été constatées du côté de la tension et de la compression pendant le mouvement dentaire, En outre, l'administration de précurseurs de NO et d'inhibiteurs de la NOS a respectivement augmenté et réduit le mouvement dentaire chez les animaux. Le NO est un messenger qui intervient dans le cycle du remodelage osseux, il est suggéré que le NO peut augmenter le

taux de OTM, ce qui entraîne une modification de la durée du traitement orthodontique. Pour confirmer cette hypothèse, de nombreuses études ont été menées. Des preuves de plus en plus nombreuses indiquent que le NO régule de multiples comportements cellulaires liés au mouvement orthodontique

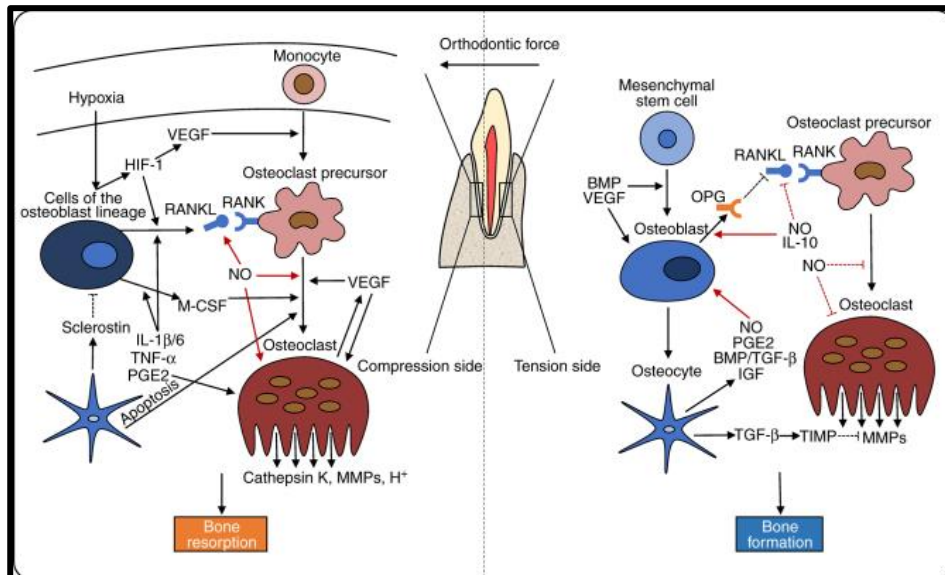


Figure 53 : Représentation schématique du remodelage osseux et de la régulation du NO pendant le mouvement orthodontique des dents du côté de la compression et de la tension. (96)

Pour étudier le rôle du NO dans le mouvement des dents orthodontiques, une étude a été menée Sur 48 rats qui ont été divisés en quatre groupes d'étude, 12 rats pour chaque groupe. Une force orthodontique a été appliquée par un ressort à spire fermée en nickel-titane de 5 mm A été ligaturé entre l'incisive maxillaire droite et la première molaire de chaque rat afin d'exercer une force initiale de 60 g.

- Groupe 1 : un groupe témoin dans lequel aucune injection n'a été effectuée
- Groupe 2 : un groupe salin (des injections de solution saline normale 50µL/kg)
- Groupe 3 : un groupe Larg. dans lequel des injections de L-arg (200 mg/kg)
- Groupe 4 : un groupe L-NAME recevant des injections de L-NAME (10 mg/kg).

Chaque groupe recevant des injections locales sous-périostées dans la muqueuse buccale de la première molaire supérieure droite.

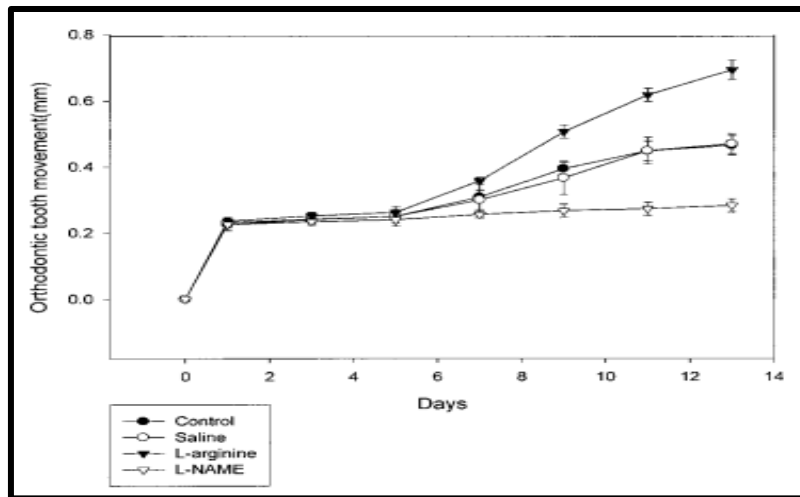


Figure 54 : courbes temps-mouvement orthodontique des dents pour quatre groupes d'études du troisième jour jusqu'à la fin de l'expérience. (69)

Résultat :

- a. Toutes les molaires de côté de traitement ont montré des signes de mouvement dentaire. Aucun mouvement dentaire n'a été observé dans le groupe sans appareil.
- b. Des lacunes de résorption ont été observées sur la surface mésiale de toutes les racines mésiales de la première molaire, même chez le rat normal (le rat qui n'a pas subi d'application de force ou d'injection). La résorption radiculaire dans les groupes témoin et salin était plus importante que chez le rat normal. La résorption radiculaire dans le groupe 3 était inférieure à celle du groupe témoin. La résorption radiculaire dans le groupe 4 était proche du niveau observé dans le groupe témoin.
- c. Par rapport au groupe témoin, l'OTM a augmenté dans le groupe 3, mais il a diminué de manière significative dans le groupe 4. Ces différences sont significatives du troisième jour jusqu'à la fin de la période d'étude. D'autre part, aucune différence significative n'a été observée entre le groupe témoin et le groupe salin au cours de l'étude.

Enfin l'étude a montré que les injections de L-arg (précurseur de l'oxyde nitrique) et de L-NAME (inhibiteur de la synthèse de l'oxyde nitrique) pendant le mouvement orthodontique des dents chez le rat ont entraîné :

1. L'augmentation de la production de NO, qui a augmenté le remodelage osseux, et l'OTM, alors qu'une diminution de la production de NO a conduit à une diminution de l'OTM.
2. Le NO a diminué la résorption de la surface de la racine.

3. Le NO a augmenté le nombre d'ostéoclastes entourant la dent soumise à un mouvement dentaire orthodontique et l'inhibition de la production de NO a eu un effet opposé sur le nombre d'ostéoclastes.

f- Le plasma riche en plaquette (PRP) : (3) (18) (28) (101)

- **Définition et mode d'action :**

Le plasma riche en plaquette (platelet-rich plasma, PRP) est un plasma produit à partir du sang d'une personne (autologue) à l'aide d'une centrifugeuse dont la concentration est trois à cinq fois plus élevée en plaquette, en facteurs de croissance et en cytokine, que ce qui est présent naturellement dans le sang.

Etant donné que ces facteurs de croissance et ces cytokines peuvent stimuler à la fois l'activité ostéoblastique et ostéoclastique, le PRP peut ainsi interférer avec le processus de remodelage de l'os alvéolaire. Ces caractéristiques soutiennent le potentiel du PRP à accélérer le mouvement dentaire orthodontique, qui est causé par la modélisation et le remodelage progressifs de l'os alvéolaire environnant.

L'injection de PRP, enrichie ainsi en plaquettes et en facteurs de croissance, devient une option populaire pour amplifier le processus de guérison naturel du fuselage en cas de blessures aux tendons, aux ligaments, aux articulations, au cartilage, à l'os, aux muscles voire pour la repousse des cheveux mais également pour des applications en odontologie (récession parodontale, amélioration des processus de cicatrisation post-extraction, etc...).

- **Analyse de la littérature :**

Liou a rapporté que le PRP a obtenu un effet d'accélération dans différents types de mouvements dentaires cliniquement. Récemment, d'autres études ont été menées pour confirmer l'efficacité du PRP sur l'accélération du mouvement orthodontique principalement sur des modèles animaux.

Rachid et al ont voulu évaluer l'effet du plasma riche en plaquettes sur le taux de déplacement des dents en orthodontie. L'échantillon comprenait six chiens mâles bâtards mature. La deuxième prémolaire de chaque chien a été extraite bilatéralement. Le PRP a été préparé et inséré autour de la première prémolaire dans un quadrant maxillaire sélectionné au hasard tandis que l'autre quadrant servait de contrôle. Des ressorts hélicoïdaux (150g) ont été utilisés pour distaliser les premières prémolaires pendant 63 jours en utilisant le TAD comme

ancrage. Dans cette étude, les injections de PRP ont été réalisées au niveau intra-ligamentaire dans le but d'obtenir une réaction tissulaire localement renforcée par la capacité ostéo-inductrice des facteurs de croissance contenus dans le PRP.

Les résultats étaient une augmentation significative du taux de déplacement dentaire dans les deux groupes après une semaine, avec un taux de déplacement significativement plus élevé dans le groupe PRP que dans le groupe témoin pendant le reste de la période d'étude. Le taux de déplacement des dents dans le groupe PRP a dépassé le double de celui de groupe témoin en particulier à la troisième semaine. Et cela est dû au nombre d'ostéoblaste, de cémentoblaste et d'ostéoclaste qui est statistiquement plus élevé dans le groupe PRP que dans le groupe témoin.

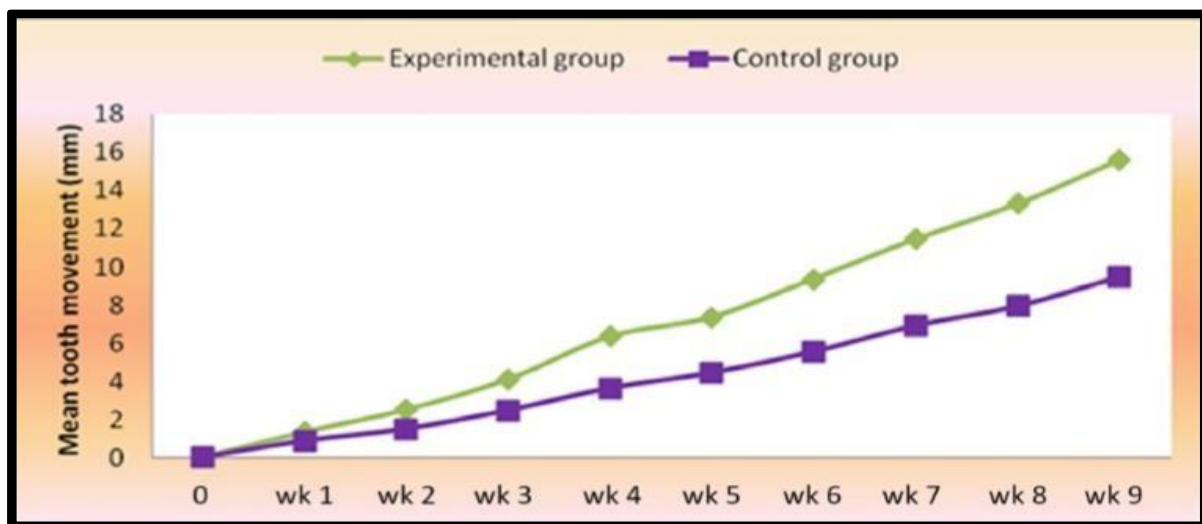


Figure 55 : courbes de déplacement des dents de deux groupes (3)

En conclusion de cette étude, l'injection locale de PRP a permis d'accélérer le mouvement orthodontique des dents sans effets secondaires cliniques ou microscopiques évidents.

Concernant le modèle humain, une récente étude en « split mouth design » a été menée dans le même but que les études précédentes. Seize patientes ont été réparties au hasard dans une split mouth étude pour recevoir des injections de PRP avec une solution activatrice de CaCl₂ d'un côté (cote intervention) tandis que l'autre côté recevait une injection de CaCl₂ uniquement (cote contrôle). La rétraction canine a été effectuée sur un arc en acier inoxydable de 0.017×0.025-inch appliquant une force de rétraction de 1.5N. Des injections de PRP et de CaCl₂ ont été réalisées à 0, 3 et 6 semaines. La durée de l'étude était de 4 mois. Les données ont été recueillies à partir de modèles numérisés et l'évaluation de la

douleur accompagnant la procédure a été faite à l'aide d'une échelle visuelle analogique.

Les résultats étaient que le taux de rétraction des canines était plus rapide de côté de l'intervention au cours des deux premiers mois, avec une différence statistiquement significative au cours de premier mois. En revanche, le rythme était statistiquement plus lent du côté de l'intervention au cours de troisième mois suivant l'arrêt des injections de PRP. La douleur a augmenté après les injections des deux côtés.

Ils ont conclu que le PRP à un potentiel positif pour accélérer la vitesse de déplacement des dents lorsqu'il est injecté au cours des deux premiers mois. Des injections répétées de PRP pour maintenir un rythme constant de mouvement accéléré des dents justifient une enquête plus approfondie.

Remarque :

Il est important de noter que certains médicaments ont un effet ralentisseur sur le déplacement dentaire tels que :

- Les biphosphonates qui sont indiqués essentiellement dans le traitement de l'ostéoporose et en oncologie, ils sont largement utilisés pour bloquer la résorption osseuse en se lient à l'os et en inhibent l'action des ostéoclastes, entraînent une diminution du remodelage osseux et inhibent donc le déplacement dentaire.
- Les antiépileptiques sont des médicaments indiqués dans le traitement des crises d'épilepsie, ils réduisent leur fréquence et leur gravité, ils semblent diminuer les déplacements dentaires par réduction de nombres d'ostéoclastes du cote de la pression et induisent des changements histologiques manifestes au sein des tissus parodontaux. Cela se traduit en clinique par l'apparition très fréquente d'hyperplasie généralisée de la gencive marginale et interdentaire lors de la prise de phénytoïne .
- Le fluor est un oligo-élément qui se fixe dans l'émail des dents et les rend beaucoup plus résistantes aux attaques des bactéries de la plaque dentaire. Il n'y en a pas du tout dans les aliments et une faible quantité dans l'eau de boisson et dans le sel de table. L'administration systémique de fluor semble diminuer les déplacements dentaires orthodontiques. Le ralentissement des mouvements orthodontiques semble de plus être proportionnel à la durée d'exposition au fluor.
- L'aspirine, la plupart des anti inflammatoires non stéroïdiens, les antihistaminiques, les hormones sexuelles sont aussi responsables d'un ralentissement des mouvements orthodontiques.

3. Les moyens biomécaniques :

3.1. Fast braces « the Viazis » : (8) (30)

Récemment, FASTBRACES® a attiré l'attention en raison de la manière dont il donne des résultats magnifiques, même en une centaine de jours. Certains médecins se demandent comment FASTBRACES® peut aligner les dents en peu de temps. Les patients peuvent désormais obtenir des résultats, souvent avec moins de sensibilité, en un an environ et, dans certains cas, en quelques mois seulement. Développée et testée au cours des 20 dernières années. Cette technique est désormais disponible dans tous les pays du monde mais elle est principalement utilisée aux USA. Dr Viazi a publié le premier article scientifique sur son système de "bracket orthodontique" (devenu plus tard Fastbraces®) en 1986 et les premiers résultats cliniques ont été présentés en 1993 à l'Association américaine des orthodontistes (American Association of Orthodontists). Ces premiers résultats cliniques et de recherche ont été publiés dans le Journal of Clinical Orthodontics aux États-Unis et dans le Journal STOMA en Europe, respectivement.

- **Biologie :**

La technologie FASTBRACES® utilise des brackets triangulaires uniques. Qui permettent l'utilisation d'un seul fil nickel-titane super-élastique pendant le processus de traitement. Cette technologie tire profit du potentiel ostéogénique de l'os alvéolaire et fonctionne sur un principe mécanique entièrement différent.. Avec les brackets Viazi, la couronne et la racine des dents sont déplacées en même temps et la force utilisée est comparativement moins importante, ce qui provoque moins de douleur.



Figure 56 : Bracket FASTBRACES® (30)

Les brackets classiques sont généralement de forme carrée et ne ménagent pas suffisamment d'espace entre elles.

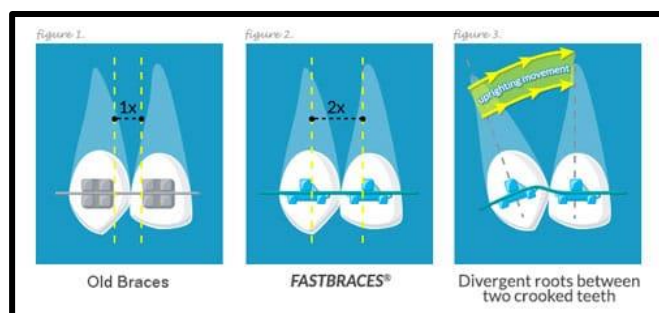


Figure 57 : Comparaison entre brackets classiques et brackets FASTBRACES (16)

Brackets FASTBRACES®	Brackets traditionnels
Morsure naturelle préservée	Morsure naturelle modifiée
Supports triangulaires	Supports carrés
Thérapeutique souvent non-extractionnelle	Thérapeutique souvent extractionnelle
Un seul fil utilisé	Plusieurs fils utilisés
Durée quelques semaines à quelques mois	Durée moyenne de 2 ans
Moindre coût	Coût plus élevé
Mouvement immédiat de la racine	Mouvement retardé de la racine
Résorption radiculaire statistiquement réduite	Pas de résorption radiculaire
Moins de douleur statistiquement	Douleur rapportée
Les dispositifs de contention portés 15-20 minutes par jour	Les dispositifs de contention portés 24/7

Tableau 4 : Tableau comparatif entre thérapeutique avec brackets conventionnels et brackets FASTBRACES® (16)

- **Leur mode de fonctionnement :**

La technologie FASTBRACES® permet de déplacer les racines des dents vers leur position finale dès le début du traitement en les torsadant dès le premier rendez-vous.

Viazis et al. Ont introduit les termes de diagnostic orthodontique basés sur la biologie, à savoir l'orthodontose et l'orthodontite.

L'orthodontose est définie comme une déficience non inflammatoire de l'os alvéolaire dans la dimension horizontale, causée par le déplacement de la ou des racines de la dent, typiquement au niveau palatin ou lingual.

L'orthodontite est définie comme : l'excès de manifestation des tissus mous et l'inflammation chronique qui y sont associés. En effet, l'hypoplasie osseuse des tissus durs

CHAPITRE III : Les moyens d'accélération du traitement orthodontique

(orthodontose) et la manifestation des tissus mous (orthodontite) associées à des racines mal positionnées représentent une éruption inachevée. Sur la base de ces définitions,

Cette technique basée sur le phénomène de l'ortho-éruption qui entraîne le remodelage de l'os alvéolaire et la restauration de l'arcade dentaire à sa taille et à sa forme naturelle appropriée. FASTBRACES® utilise une technologie de pointe conçue pour supprimer le processus en deux étapes des appareils orthodontiques traditionnels. Avec les appareils orthodontiques traditionnels, la première année est consacrée à la mise en place des couronnes des dents et les racines des dents sont mises en place au cours de la deuxième année. Elle permet de redresser les racines dès le premier jour grâce à des appareils dentaires brevetés, à une méthode brevetée de restauration de l'os alvéolaire et à une méthode brevetée de traitement de l'orthodontite. La technologie brevetée FASTBRACES® permet aux dentistes de faire croître l'os alvéolaire afin de redresser les dents rapidement et d'éviter l'extraction de dents ou parfois même la chirurgie de la mâchoire. The Viazi facilitent la continuation de l'éruption tout en induisant le remodelage osseux alvéolaire et le développement en un temps de traitement court en déplaçant les racines dentaires vers leur position finale éruptive naturelle dès le début du traitement avec des forces légères qui simulent les forces d'éruption naturelle : il s'agit de l'ortho-éruption. Cette éruption des dents induite par l'orthodontie aboutit à la réussite des cas non-extractionnels dans des temps de traitement nettement réduits. Les études montrent L'absence de douleur dans l'éruption naturelle et dans l'orthoéruption suggère fortement qu'il n'y a que peu ou pas d'inflammation ou peu ou pas de hyalinisation. Les auteurs estiment que la réduction des temps de traitement avec les systèmes brevetés de la technologie FASTBRACES® sont fortement corrélées à une semi-hyalinisation ou à une absence d'hyalinisation.



Figure 58 : cas de traitement ave fastbraces en 117 jours Courtesy of Dr. Stephan Van Vuuren, London, United Kingdom (8)

3.2. Boîtiers auto-ligaturants: (26) (41) (42) (62)

- **Définition et méthode d'action :**

On a assisté ces dernières années à un grand intérêt du marché orthodontique pour les brackets autoligaturants, boîtiers s'affranchissant de toutes ligatures métalliques et/ou élastomériques par la présence d'un clapet solidaire de l'attache qui ouvre et ferme ce système.

Deux types de boîtiers sont à distinguer :

- Les brackets auto-ligaturants actifs : le clapet entre en contact avec l'arc en assurant une légère pression qui est à l'origine de la maîtrise des mouvements dans les trois plans de l'espace. (Ex. In-Ovation, Speed)
- les brackets auto-ligaturants passifs : le clapet n'interfère pas avec la lumière du bracket, entraînant ainsi une moindre friction (ex. Damon, Smart-Clip Carriere.)



Figure 59: Différents types de boîtiers autoligaturants.
a : actif - b : passif. (42)

L'argument commercial principal des boîtiers auto-ligaturants était qu'ils permettaient d'effectuer des traitements orthodontiques plus rapides car développant une friction plus faible entre le boîtier et le fil, tout en étant plus confortable pour le patient ainsi qu'en réduisant le nombre de cas nécessitant des extractions... Les études cliniques de 2001 (JJ Eberting et al ;harradine et al) ont conclu que la durée de traitement avec SLB est courte de 4 mois par rapport au traitement avec des brackets conventionnelles.

Par contre Dans une étude prospective multicentrique randomisée O'Dwyer et al font le point sur les précédentes études effectuées. Conclu qu'il n'y avait pas de différence entre les brackets conventionnels et les brackets auto-ligaturants en ce qui concerne la durée du traitement, l'efficacité de la fermeture de l'espace, la vitesse d'alignement ou les changements transversaux. Son avantage résiderait cependant dans le gain de temps pour le praticien. L'ouverture et la fermeture des clapets seraient plus rapides que le remplacement des ligatures élastomériques sur chaque boîtier et permettraient un gain de temps de 20 secondes par arcade.

Author	Study Design ^a	Appliance	Outcomes ^b	Key Findings
Harradine, 2001 ¹⁴	Retrospective matched groups, 60 subjects	Damon SL vs conventional	Total treatment time	SL faster by 4 mo and required 4 fewer visits
Eberling et al., 2001 ¹⁵	Retrospective sample group, 215 subjects	Damon SL vs conventional	Total treatment time; patient satisfaction	SL faster by 6 mo and fewer visits required; satisfaction was higher with SL
Miles, 2005 ¹⁰	Prospective CCT, parallel groups, 48 subjects	SmartClip vs Victory	Initial alignment of LLS at 10 +20 wk	No difference
Miles et al., 2006 ⁶	Prospective CCT, split-mouth, 58 subjects	Damon 2 vs conventional	Initial alignment of LLS at 10 +20 wk	No difference
Miles, 2007 ¹¹	Prospective CCT, split-mouth, 13 subjects	SmartClip vs conventional	En-masse space closure	No difference
Pandis et al., 2007 ⁷	Prospective CCT, parallel groups, 54 subjects	Damon 2 vs conventional	Rate of alignment of LLS	No difference
Scott et al., 2008 ⁸	RCT, parallel groups, 62 subjects	Damon 3 vs conventional	Rate of alignment of LLS	No difference
Fleming et al., 2010 ¹²	RCT, parallel groups, 54 subjects	SmartClip vs conventional (Victory)	Treatment duration and number of visits	No difference
Johansson and Lundstrom, 2012 ⁹	RCT, parallel groups, 90 subjects	Time 2 SL vs conventional	Overall treatment time, number of visits, treatment outcome (ICON)	No difference
Songra et al., 2014 ¹³	RCT, parallel groups, 98 subjects	Active SL vs passive SL vs conventional	Labial segment alignment and space closure	Initial alignment was quicker with the conventional brackets; no difference in rate of space closure

Tableau 5 : Comparaison du temps de traitement

entre boîtiers Twins et auto-ligaturants. (62)

3.3. Les aligneurs : (34)

Les aligneurs orthodontiques se sont énormément développés depuis l'apparition sur le marché d'Invisalign® en 1999. Il existe maintenant plusieurs compagnies proposant ce service. Leurs atouts principaux viennent du fait que les aligneurs sont esthétiques, ce qui séduit à la fois les patients et les praticiens ; les coquilles transparentes sont amovibles, permettant ainsi aux patients de manger et de passer la soie dentaire plus aisément. Peu d'études comparent la durée de traitement entre les aligneurs et les boîtiers orthodontiques

CHAPITRE III : Les moyens d'accélération du traitement orthodontique

classiques, tout d'abord parce que, selon Djeu et al, les aligneurs ne permettent pas d'avoir d'aussi bons résultats que les boîtiers, en particulier pour les corrections des décalages du sens antéro-postérieur mais aussi au niveau de l'intercuspitation. Pour ces raisons, il est difficile de comparer des temps de traitement entre deux techniques qui n'apportent pas les mêmes résultats. Bushang et al. En 2006.ont tout de même évoqué ce point-ci dans leur étude en trouvant un temps de traitement pour le groupe « aligneurs » plus court de 7 mois en comparaison au groupe avec boîtiers conventionnels.

Measure	Units	Aligner Therapy		Conventional Braces		Group Differences
		Median	IQR	Median	IQR	P Value
Appointments	N	8.0	5.0	12.0	4.0	<.001
Duration	Months	11.5	7.2	17.0	5.5	<.001

* IQR indicates interquartile range.

Tableau 6 : Comparaison entre les aligneurs et les boîtiers conventionnels (35)

CHAPITRE IV

LES CAS CLINIQUES

Cas clinique N°01 : « Orthopulse® » (25)

Dr. Dickerson DDS en orthodontie, Etats-Unis.

Une femme âgée de 45 ans. Elle avait un encombrement antérieure inférieur modéré et les formes d'arcades étaient considérablement étroites. Par contre les relations molaires et canines étaient de class 1.

- **Biomécanique utilisé :** ORTHOPULSE + INVISALGN avec un total de 31 aligneurs au niveaux maxillaire et mandibulaire.
- **Durée de traitement estimé :** 84 semaines.
- **Durée de traitement réelle :** 39 semaines.



Figure 60 : «Orthopulse® »



Figure 61 : avant le traitement



Figure 62 : la patiente après 39 semaine de traitement.

Cas clinique N°02 : « AcceleDent » DR SHARON (73)

Il s'agit d'une patiente âgée de 27 ans;

Elle présente une classe II div 2 modérée et un léger encombrement dans l'arcade inférieure.



Figure 63 : AcceleDent®

- **Biomécanique utilisé** : technique multi attache sans extraction+elastique classII +ACCELDENT sans PF
- **Durée de traitement estimé** : 18 mois
- **Durée de traitement réelle** : 12½ mois



Figure 64 : avant le début du traitement



Figure 65 : suivi de traitement après 4 mois.



Figure 66 : fin de traitement après 12½ mois

Cas clinique N° 03 : « SLB » orthotown.com (32)

Dr Blair Feldman, DMD, MS ARIZONA UNIVERSTY

Il s'agit d'Un adolescent âgé de 12 ans qui se présente au cabinet dentaire en se plaignent principalement d'un encombrement dentaire l'examen clinique et radiologique montre que le patient présente une occlusion postérieure perturbée et les canines supérieures en infra position et un décalage des lignes médians.

- **Biomécanique utilisé** : boîtier auto-ligaturants « Damon »
- **Durée de traitement estimé** : 18\24 mois
- **Durée de traitement réelle** : 15 mois et 13 rendez-vous.



Figure 67 : TLR



Figure 68 : avant le début de traitement

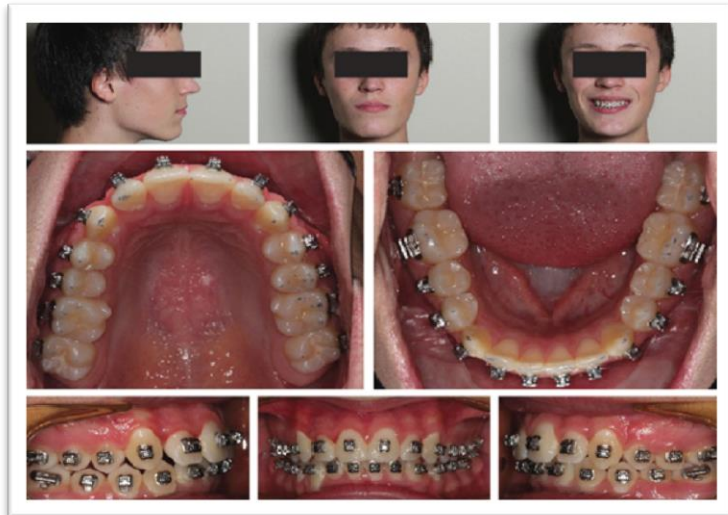


Figure 69 : 16 semaines après le début du traitement



Figure 70: 15 mois après le début du traitement

Cas clinique N°04 : PRP (APOS) Asian Pacific orthodontics Society. (45)

L'injection de PRP pourrait être appliquée pour accélérer l'alignement et le nivellement orthodontiques des dents dans l'encombrement antérieur, et la fermeture de l'espace dans la rétraction antérieure en masse ou la mésialisation des molaires.

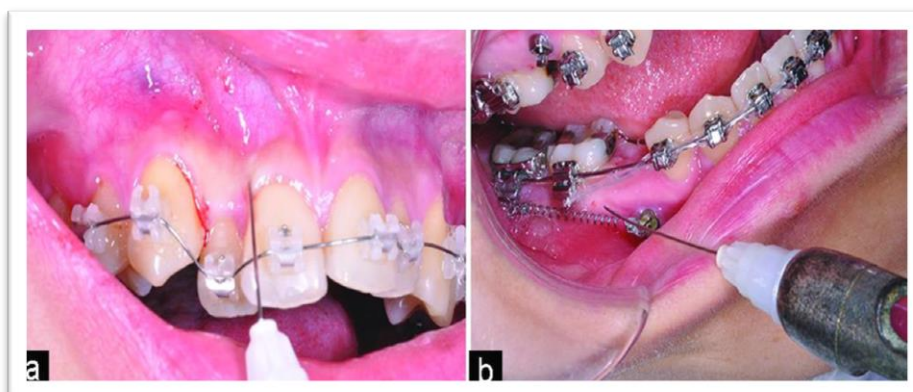


Figure 71 : injection sous-muqueuse de PRP

Et c'est ce qui a été présenté dans ce cas

- **Biomécanique utilisé** : technique multi attache + extraction des prémolaires (supérieure et inférieure) + arc transpalatin soudé sur bague molaire
- **Durée de traitement estimé** : 18 mois
- **Durée de traitement réelle** : 12 mois
- **Évolution de traitement**

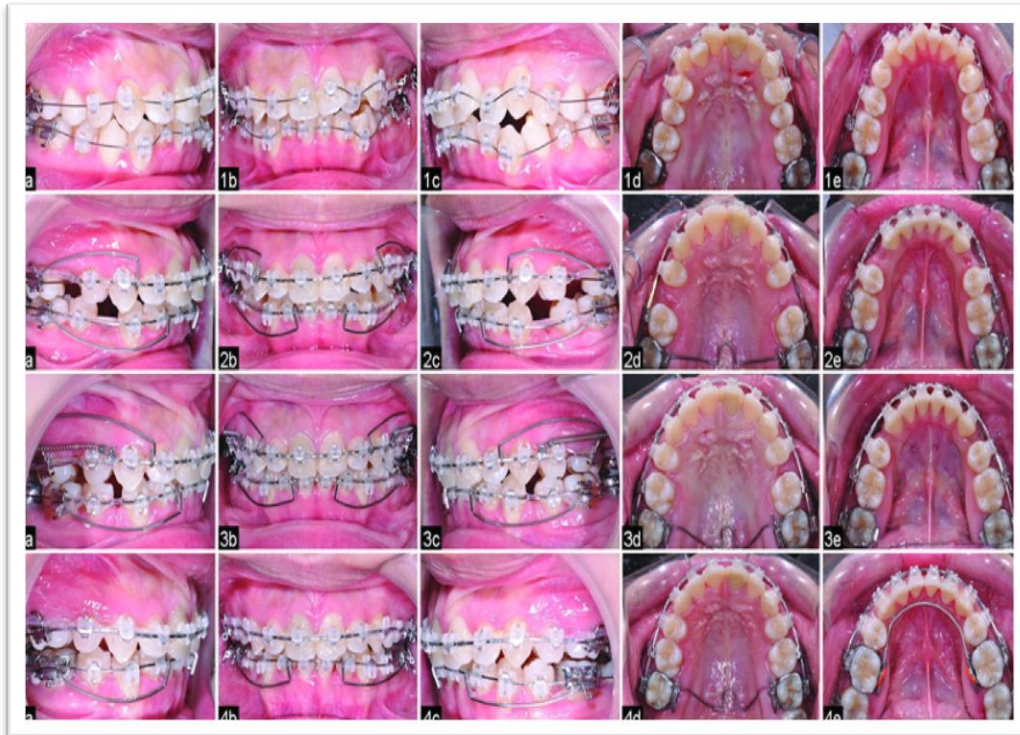


Figure 72 : L'application de PRP pour accélérer l'alignement de l'encombrement antérieur et la fermeture de l'espace dans un cas traité avec extraction de prémolaires supérieure et inférieure.

- * (1a-e) : La première injection de plasma riche en plaquettes dans les dents antérieures supérieures et inférieures.
- * (2a-e) : 3 mois après la première injection de plasma riche en plaquettes.
- * (3a-e) : 6 mois après la première application de plasma riche en plaquettes et le deuxième rappel d'injection de plasma riche en plaquettes.
- * (4a-e) : L'espace d'extraction a été fermé 3 mois après le deuxième rappel d'injection de plasma riche en plaquettes.

En conclusion ; L'injection sous_ muqueuse de PRP est une technique cliniquement faisable et efficace qui peut accélérer le mouvement orthodontique tout en préservant l'os alvéolaire du coté de pression du mouvement orthodontique.

Cas clinique N°05: « Fast braces » (9)

Une jeune adolescente s'est présentée avec une plainte principale fonctionnel (difficulté à mâcher) et esthétique .L'examen clinique relevé une supracluse avec face moyenne ; un over jet de 4 mm et over bite de 5 mm.et des dents ectopiques.



Figure 73 : avant le traitement « vue intra oral et occlusal »

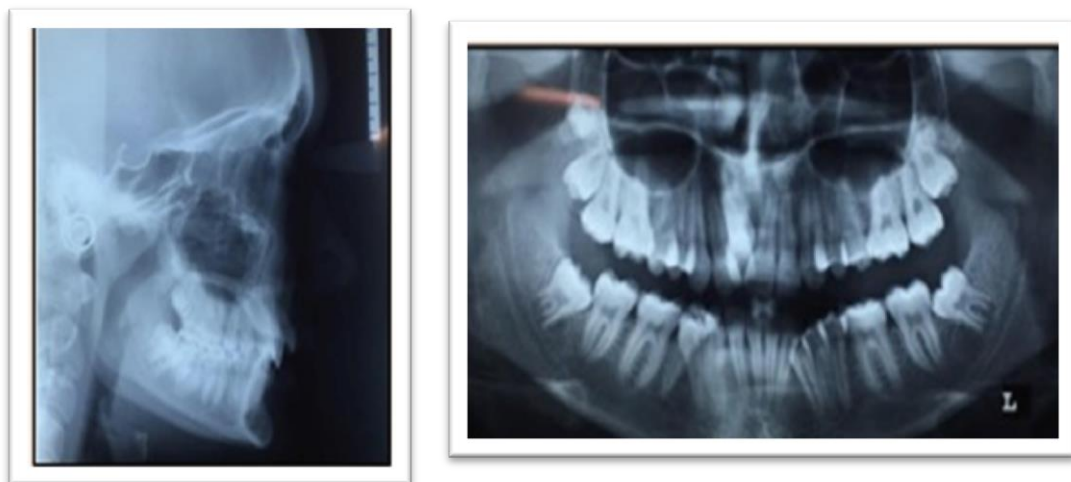


Figure 74 : Radiographie per-opératoire

- **Biomécanique utilisée** : Fast-braces
- **Objectif de traitement** : Un schéma thérapeutique sans extraction a été recommandée en raison du pronostic favorable de la croissance de l'os alvéolaire, et la nouvelle technique fastbraces afin de corriger l'encombrement important et d'obtenir une occlusion correcte
- **Durée de traitement estimée** : 25mois.
- **Durée de traitement réelle** : 12mois.
- **Evolution du traitement** :



Figure 75 : La progression de traitement.

A : lors du traitement initiale 4 bracket ont été placé sur les dents antérieures avec suivi de 21 jours pendant une période de 4 mois

B : bracketage de l'arcade inferieur

Les résultats cliniques et la radio et les photographies montrent une amélioration esthétique et une occlusion stable.



Figure 76 : fin du traitement

CONCLUSION

A travers notre travail nous avons voulu mettre en évidence l'intérêt de la communauté orthodontique à réduire le temps de traitement, Cet intérêt naît de la volonté de l'orthodontiste d'éviter au maximum les effets indésirables du traitement orthodontique et de répondre à la demande esthétique des patients notamment les adultes parmi eux.

Bien que les techniques chirurgicales semblent avoir démontré leur efficacité significative dans l'accélération du déplacement dentaire, elles restent, malgré tout, un acte invasif, surtout si elles doivent être répétées durant le traitement. La tendance actuelle est à la recherche de techniques accélératrices moins invasives. En effet, cela répondrait à la demande des patients et des praticiens en termes de confort de traitement.

Les techniques chimiques et physiques répondent à cette demande. Les techniques chimiques naissent de la connaissance de plus en plus approfondie des mécanismes du déplacement dentaire et du remodelage osseux. Les molécules telles que les prostaglandines, les cytokines, le ligand RANKL, l'hormone parathyroïdienne, la vitamine D3 ont des résultats prometteurs concernant l'accélération du mouvement dentaire, Cependant les principales études sur le sujet ont été réalisées sur des animaux et ne permettent pas de conclure à leur utilisation clinique. Des études cliniques de haut niveau sont nécessaires afin d'apporter les preuves précises pour aboutir à des applications cliniques.

Les techniques physiques comme le laser à faible intensité et l'utilisation des vibrations, sont utilisées en pratique clinique, pourtant les études cliniques divergentes quant à leurs impacts sur le mouvement dentaire.

Les recherches sur le sujet doivent continuer pour pouvoir déterminer les meilleurs moyens de diminuer le temps de traitement. Les critères nous permettant d'en juger sont : l'efficacité prouvée cliniquement, le confort clinique, une application répétée sans risque pour le patient, la facilité d'application pour le praticien.

Et pour finir notre conclusion, selon nous, trois questions restent sans réponses :

- Est ce que ces techniques seront adoptées à une grande échelle ?
- Vu leur importance, est ce que ces techniques vont connaître des évolutions importantes
- Si la réduction de la durée est un objectif important pour le praticien et pour les patients, est ce que cette réduction assurera la stabilité du traitement ?

Les stimulés Physiques	Action sur le déplacement	Indication orthodontique	Niveau De Preuve	Mise en œuvre clinique	Les avantages	Les inconvénients
Le laser	Accéléré le MDP	Facilité le traitement orthodontique	Clinique et animal	Application sur bouche	Stimulation de remodelage osseux Réduction la douleur Stimulation d'ostéoblastes Amélioration de mouvement dentaire Aucun effet secondaire néfaste	Faible niveau de preuve
Les vibrations	Accéléré le MDP	Facilité le traitement orthodontique	Clinique	Application sur bouche	Diminution de la durée du traitement Diminution de la douleur post traitement	Faible niveau de preuve
Photo - modulation	Accéléré le MDP	Facilité le traitement orthodontique	clinique	Application sur bouche	Diminution de la douleur post traitement Accéléré les soins orthodontique Réduire le temps de port gouttière	Faible niveau de preuve

Tableau récapitulatif des stimuli physiques

Les stimulateurs chimiques	Action sur le MDP	Indication orthodontique	Niveau de preuve	Mise en œuvre clinique	Avantages	Inconvénients
RANK-L	Accélère le MDP (41 %)	Faciliter le déplacement orthodontique	Modèle animal	Injections intra-ligamentaires.		Risque de résorption radiculaire.
Prostaglandine	Accélèrent le MDP	Faciliter le déplacement orthodontique	Essais cliniques et in vivo	Injections intra-ligamentaires de Misoprostol® par doses de 10pico g/KG /jour (répartie en une injection toutes les 12 heures)	-Protection gastrique -Recul clinique	Résorption radiculaire, hyperalgésie, injections toutes les 12h
Ostéoclastine	Accélère le MDP	Faciliter le déplacement orthodontique	Modèle animal	Injections intra-ligamentaires répétées fréquemment (demi-vie de 5 minutes). Effet dose dépendant observable entre 1 et 10ug par injection, mais pas au-delà.	Demi-vie courte (5minutes) rendant le protocole fastidieux	
Relaxine	-Faciliterait aussi le déplacement dentaire en phase initiale de traitement. Facilite la réorientation des fibres desmodontales (contention)	Renforcer la Contention orthodontique	Animal et clinique, mais résultats controversés d'une étude à l'autre.	Injections intra-ligamentaires		
Biphosphonates	Ralentissent le MDP	Non souhaitable (risque d'ostéonécrose)	Modèle animal	Non souhaitable (risque d'ostéonécrose)		

Tableau récapitulatif des stimuli chimiques

1. **A.Borghetti V. Monnet Corti** Chirurgie plastique parodontale. - [s.l.] : CdP, 2001.
2. **A.Mavropoulos S.kiliaridis et al** Effect of different masticatory functional and mechanical demands on the structural adaptation of the mandibular alveolar bone in young growing rats. - [s.l.] : Bone 35 (2004) 191-197, 2004.
3. **A.Rashid F.A.Elsharaby et al** Effect of platelet-rich plasma on orthodontic tooth movement in dogs. - [s.l.] : Orthod Craniofac Res.20:102-110 DOI: 10.1111/ocr.12146, 2017.
4. **A.T.Dinh-Xuan** Biologie, physiologie et pharmacologie du monoxyde d'azote. - [s.l.] : Réan.Urg,1996,5(6 spécial), 47s-49s, 1996.
5. **Aknin Jean Jacques** La croissance Cranio-Faciale. - [s.l.] : Edition SID , 2013.
6. **Alban Duchateaux** Accélérer et optimiser le mouvement dentaire en orthodontie. - [s.l.] : These de fin d'étude - Université de NANTES, 2016.
7. **Aldosari Mohammed Abdullah M** Effects of vibration forces on maxillary expansion and orthodontic tooth movement. - [s.l.] : Indiana University, 2015.
8. **Anthony D Viazis Evangelos , Viazis** The biology of orthodontic treatment time; days versus years.. - [s.l.] : Journal of Dental Health Oral Disorders & Therapy, 2017, Vol. 8..
9. **Anthony D Viazis Evangelos Viazis , Tom C Pagonis** alveolar bone growth with orthoeruption. - [s.l.] : Journal of dental health oral disorders and therapy, 2017.
10. **Aoumeur Chahinez Ousalah Ikram** L'orthodontie accélérée . - [s.l.] : Mémoire de fin d'étude - Université d'ORAN Ahmed Benbella-, 2018.
11. **Ashcraft Michael B., Southard Karin A. et Tolley Elizabeth A.** The effect of corticosteroid-induced orthodontic tooth movement. - [s.l.] : AM J ORTHOP DENTOFAC ORTHOP 1992;102:310-9..
12. **Bakhat Mohammed Elarbi Brahimi Seyf Eddine,Lahmer Nihad** L'accélération de traitement en orthodontie. - [s.l.] : Mémoire de fin d'étude , Faculté Saad Dahleb - Blida-, 2018.
13. **Bassigny Francis** Manuel d'orthopédie dento-faciale. - 1983.
14. **Boileau Marie-José** Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte- Principes et moyens thérapeutiques Tome 1. - [s.l.] : Elsevier Masson, 2011.
15. **Bouchard Philippe** Parodontologie et dentisterie implantaire volume1. - [s.l.] : Lavoisier, 2015.
16. **braces Fast** . - [s.l.] : Herrick Dental (en ligne).
17. **braces fast fastbraces**. - [s.l.] : Orthoworld (en ligne).
18. **Carole Charavet Michel LE Gall** Quelles sont les principales techniques chirurgicales et non chirurgicales de l'accélération du déplacement dentaire orthodontique ?. - [s.l.] : Orthod Fr 2021;92:115–128 .

19. **Carole Charvet France Lambert et al** Traitement orthodontique accéléré par corticotomies : quelles sont les alternatives minimalement invasives ?. - [s.l.] : Orthod Fr, 2019.
20. **Chang Joy H, Chen Po-Jung et Arul Michael R** Injectable RANKL sustained release formulations to accelerate orthodontic tooth movement. - [s.l.] : Eur J Orthod 2020 Jun 23;42(3):317-325 DOI: 10.1093/ejo/cjz027.
21. **D. Dorignac E. Bardin et al** Biomécanique orthodontique et notion de force légère. - [s.l.] : Elsevier Masson, 2008.
22. **Darshan Mathew Yuhann Siddarth Shetty, Supriya Nambiar et al** Accelerated Orthodontics – Surgical, Mechanical And Pharmacological Methods . - [s.l.] : European Journal of Molecular & Clinical Medicine , 2020.
23. **Dimitrios Mavreas Athanasios E et al** Factors affecting the duration of orthodontic treatment : a systematic review. - [s.l.] : European Journal of Orthodontics DOI: 10.1093/ejo/cjn018, 2008.
24. **Dubois François Gilbert** Indications et critères de choix des techniques d'accélération du déplacement dentaire en orthodontie . - [s.l.] : Sciences du Vivant [q-bio] .dumas-02067325 , 2017.
25. **E.Dickerson Todd** Invasalign with photobiomodulation optimizing tooth movement and treatment efficacy with a novel self-assessment algorithm. - [s.l.] : Journal of orthodontic tooth movement, 2017.
26. **Eberting JJ Straja SR , Tuncay OC** Treatment time, outcome, and patient satisfaction comparisons of Damon and conventional brackets. - [s.l.] : Clin. Orthod. Res. 4, 2001;228-234.
27. **Elif Keser Farhad B , Naini** Accelerated orthodontic tooth movement: surgical techniques and the regional acceleratory phenomenon. - [s.l.] : Springer, 2022.
28. **El-Timamy Ahmed et al Fouad El Sharaby et** Effect of platelet-rich plasma on the rate of orthodontic tooth movement: A split-mouth randomized trial. - [s.l.] : Angle Orthodontist DOI: 10.2319/072119-483.1, 2019.
29. **Emilie Tissandié Yann Guéguen et al** Vitamine D : métabolisme régulation et maladies associées. - [s.l.] : Medecine/Sciences 2006 ; 22:1095-100.
30. fast braces [En ligne] // fastraces . - orthoworld.
31. **Federico Brugnami Alfonso Caiazzo** orthodontically Driven Corticotomy. - [s.l.] : ISBN-13:978-1-118-48687-0/2015., 2015.
32. **Feldman Blair** A Dental CLass II case with severe crowding treated with self-ligating brackets. - [s.l.] : Orthotown, 2015.
33. **François Vigouroux** Guide pratique de chirurgie parodontale. - [s.l.] : Elsevier Masson, 2011.

BIBLIOGRAPHIE

34. **Gandet Charles** Evaluation et quantification de différents facteurs influençant le temps de traitement orthodontique. - [s.l.] : Université de Montréal , 2017.
35. **Gandet Charles** Évaluation et quantification de différents facteurs influençant le temps de traitement orthodontique. - Montréal : Université de Montréal, Février 2017.
36. **Gidel Audrey** La biostimulation assistée par laser en parodontologie . - [s.l.] : dumas-01619288 , 2017.
37. **Ginistry Pr.Danielle** Développement bucco-dentaire et anomalie. - [s.l.] : La revue de praticien, 2007.
38. **Gonzales Carmen, Hotokezaka Hitoshi et Matsuo Ken-Ichiro** Effects of Steroidal and Nonsteroidal Drugs on Tooth Movement and Root Resorption in the Rat Molar. - [s.l.] : Angle Orthodontist, Vol 79, No 4, 2009 DOI: 10.2319/072108-381.1.
39. **Graber Evan** Croissance physique des nourrissons et des enfants. - [s.l.] : la manuel Msd, 2021.
40. **Guneet Guram Rajesh Kumar Reddy, Anand M Dharamsi** Evaluation of Low-Level Laser Therapy on orthodontic tooth movement : A Randomized control study. - [s.l.] : Contemp Clin Dent 2018 Jan-Mar;9(1):105-109.
41. **Harradine NWT** Self-ligating brackets and treatment efficiency. - [s.l.] : Clin.Orthod. Res. 4,2001; 220-227, 2001.
42. **Hasnaa Dehbi Mohamed Faouzi Azaroual, Fatima Zaoui** Therapeutic efficacy of self-ligating brackets : A systematic review. - [s.l.] : Elsevier Masson, 2017.
43. **Herring Susan W** Masticatory muscles and the skull: a comparative perspective. - [s.l.] : Arch Oral Biol.2007 Apr;52(4):296-9, 2007.
44. **Ildu Andrade Jr Ana Beatriz dos Santos Sousa, Gabriela Gonçalves da Silva** New therapeutic modalities to modulate orthodontic tooth movement. - [s.l.] : Dental Press J Orthod. 2014 Nov-Dec;19(6):123-33 .
45. **J.W.Liou Eric** injection of platelet rich plasma for accelerating orthodontic tooth movement and preserving pressure side alveolar bone. - [s.l.] : 10.4103/2321-1407.173725, 2016.
46. **Jacques Dangoumau** Pharmacologie générale. - [s.l.] : Université Victor Segalen- Bordeaux 2, 2006.
47. **Jean-David M.Sebaoun Jérôme Surmenian , Serge Dibart** Traitements orthodontiques accélérés par piézocision: une alternative mini-invasive aux corticotomies alvéolaires. - [s.l.] : Ortho Fr, 2011.
48. **Jean-Marc Retrouvey Katherine Koussaie** Physique de base en orthodontie .
49. **Jean-Paul Loreille** Croissance générale de l'enfant. - [s.l.] : EM consulte, 1996.
50. **Jeremy R Kernitsky Abdallah Bamashmous et al** Corticotomy depth and regional acceleratory phenomenon intensity. - [s.l.] : Angle Orthodontist . doi : 10.2319/041320-296.1, 2020.

51. **John T Potts Thomas J Gardella** Progress, paradox, and potential : parathyroid hormone research over five decades. - [s.l.] : Ann N Y Acad Sci, 2007.
52. **Julien Godenèche** Accélérer les traitement orthodontiques. - [s.l.] : Dentoscope.
53. **Julien Oury Franck Oury** Osteocalcin, a Key molecule for bone endocrine functions. - [s.l.] : Med Sci (Paris).2018 Jan;34(1):54-62, 2018.
54. **Julien Sastre Michel Le Gall** The fundamentals of tooth movement. - [s.l.] : International Orthodontics 2010 ; 8 : 1-13, 2010.
55. **Julien SASTRE Michel LE GALL** Tooth movement – clinical implications. - [s.l.] : International Orthodontics 2010 ; 8 : 105-123 DOI:10.1016/j.ortho.2010.03.011.
56. **Junyi Zheng Kai Yang** Clinical research: low-level laser therapy in accelerating orthodontic tooth movement. - [s.l.] : BMC Oral Health. 2021 Jun 28;21(1):324 DOI : 10.1186/s12903-021-01684-z.
57. **Kalia S Melsen B, Verna C** Tissue reaction to orthodontic tooth movement in acute and chronic corticosteroid treatment. - [s.l.] : Orthod Craniofaciale Res 7,2004;26-34.
58. **Kevsler Kurt Demirsoy Gokmen Kurt** Use of Laser Systems in orthodontics. - [s.l.] : Turk J Orthod 22;33(2):133-140, 2020.
59. **L.Frapier L.Massif** Orthodontie et parodontie. - [s.l.] : Elsevier Masson DOI : 10.1016/S1283-0860(17)85552-4, 2017.
60. **Lachaux Marion** Médicaments et orthopédie Dento-faciale: Interrelations et intérêts. - [s.l.] : Thèse de fin d'étude -Université Henri Poincaré — NANCY 1 , 2012.
61. Le maintenir d'espace chez l'enfant. - [s.l.] : thèse de fin d'étude - Université de Nantes, 2005.
62. **Lian O'Dwyer Simon J Littlewood , Shahla Rahman** A multi-center randomized controlled trial to compare a self-ligating bracket part1. - [s.l.] : Angle Orthodontist DOI : 10.2319/112414837.1, 2015.
63. **Madline Houchmand-Cuny Nathalie Chretien Et al** Le déplacement dentaire orthodontique : histologie, biologie et effets iatrogènes. - [s.l.] : Orthod Fr 2009;80:391–400.
64. **Mani Alikhani Sarah alansari et al** Vibration paradox in orthodontics: Anabolic and catabolic effects. - [s.l.] : Plos one, 2018.
65. **Maria-Dumitrelea Iosub Ciur Irina Nicoleta Zetu, Danisia Haba** Evaluation of the influence of local administration of vitamin D on the rate of orthodontic tooth movement. - [s.l.] : Rev Med Chir Soc Med Nat Lasi 2016 Jul-Sep;120(3):694-99, 2016.
66. **Masson SAS** Cranio-faciale. - [s.l.] : Elsevier Masson, 2014.
67. **Mehmet Akin Leyla Cime Akbaydogan** Current methods for acceleration of orthodontic tooth movement. - [s.l.] : Alanya Alaaddin Keykubat University, Alanya , Turkey, 2022.
68. **Michel Goldberg** Manuel d'histologieet de biologie buccal. - [s.l.] : Elsevier Masson, 1989.

69. **Mohsen Shirazi Dorrin Nilforoushan et al** the role of nitric oxide in orthodontic tooth movement in rats. - [s.l.] : Angle Orthodontist , Vol 72, No 3 , 2002.
70. **Mustafa Cihan Yuvuz Ogoujan Sunar , Suleyman Kutalm is Buyuk** Comparaison of piezocision and discion methods in orthodontic treatment. - [s.l.] : PubMed . doi:10.1186/s40510-018-0244-y, 2018.
71. **Nakashima Tomoki** RANKL expressed by osteocytes has an important role in orthodontic tooth movement. - [s.l.] : Tokyo Medical and Dental University.
72. **Nevesny Caroline** Le traitement orthodontique: peut-on réellement l'accélérer? . - [s.l.] : Thèse de fin d'étude - Faculté d'Odontologie de Marseille -, 2019.
73. **Orton-gibbs Sharon** Accelent clinical experience with the use of pulsatile forces to accelerate treatment. - [s.l.] : Journal of clinical orthodontics, 2015.
74. **Park Young Guk** Corticision : A Flapless Precedure to accelerate Tooth Movement. - [s.l.] : Front Oral Biol, 2016.
75. **Philippe Bousquet Hélène Ansermino et al** Croissance et implants dentaires . - [s.l.] : Orthod Fr 2016;87:321-328.
76. **Pierre Bercy Henri Tenenbaum** Parodontologie du Diagnostic a la pratique. - [s.l.] : Boeck.
77. **Pierre Cau Raymond Seite** Cours de biologie cellulaire. - [s.l.] : Ellipses 9782729811389, 2002.
78. **Raj AB Kumar MV, John RR.** Rapid Canine Retraction with Dentoalveolar Distraction Osteogenesis An in vivo Study. . - [s.l.] : J Ind Orthod Soc 2013;47(1):21-27..
79. **Ruhi Nalcaci Serpil Cokakoglu** Lasers in orthodontics. - [s.l.] : Eur J Dent 2013;7:119-25 DOI: 10.4103/1305-7456.119089.
80. **S.Kutalmis Buyuk Mustafa C.Yuvuz et al** A novel method to accelerate orthodontic tooth movement. - [s.l.] : Pubmed. doi:10.15537/smj.2018.2.21235.
81. **S.Soma M.Iwamoto , Y.Higuchi** Effects of continuous infusion of PTH on experimental tooth movement in rats. - [s.l.] : J Bone Miner Res. 1999 Apr;14(4):546-54, 1999.
82. **Sammut Arnaud** Les corticotomie alvéolaire dans le cadre des mouvements orthodontiques accélérés: techniques et biologie osseuse. - [s.l.] : Thèse de fin d'etude - Faculté dechirurgie dentaire de Nice Le, 2015.
83. **Sanjeev Kumar Verma Sandhya Meheshwari , Raj Kumar Singh** Laser in dentistry :An innovative tool in modern dental practice. - [s.l.] : Natl J Maxillofac Surg (2012);3(2):124-32 DOI:10.4103/0975/5950.111342, 2012.
84. Signalisation osseuse et RANKL. - 2021.
85. **Sivaraj Aravind** Essentials of orthodontics. - 2013.
86. **Soghra Yassaei Reza Fekrazed , Nada Shahraki** Effect off low level laser therapy on orthodontics tooth movement. - [s.l.] : J Dent (Tehran);10(3):264-72, 2013.

87. **Somayeh Heidari Sepideh Torkan** Applications laser en orthodontie. - [s.l.] : J Lasers Med Sci. Automne2013;4(4): 151-158, 2013.
88. **Sophie-Myriam Dridi Anne-laure Ejeil et al** La gencive pathologique de l'enfant à l'adulte. - [s.l.] : Information dentaire, 2014.
89. **Stanley Françoise Tillota , Alain Lautrou et Gérd Lévy** Anatomie dentaire. - [s.l.] : Elsevier Masson, 2018.
90. **Stéphanie Choin** Intérêts de la corticotomie alvéolaire dans les traitements orthodontiques. - [s.l.] : Thèse de fin d'étude- Université de Nantes, 2010.
91. **Su-Jung Kim Young-Guk Park, Seung-Goo Kang** Effects of corticision on paradental Remodeling in orthodontic tooth movement. - [s.l.] : Angle Orthodontist, Vol 79 , No 2, 2009.
92. **T. Gellee E Ouadi , A- L. Ejeil , N.moreau** Au-delà de l'accélération du déplacement dentaire : autres effets des corticotomies alvéolaires d'intérêt en pratique orthodontique quotidienne. - [s.l.] : Rev Orthop Dento Faciale, 2018.
93. **Teruko Takano-Yamamoto Kiyo Sasaki et al** Synergistic acceleration of experimental tooth movement by supplementary high-frequency vibration applied with a static force in rats . - [s.l.] : Scientific reports, 2017.
94. **Thomas Shipley Khaled Farouk , Taref El-Bialy** Effect of high frequency vibration on orthodontic tooth movement and bone density. - [s.l.] : J Orthod Sci 86.0.183.160, 2019.
95. **Timothy Shaughnessy Alpdogan Kantarci, Chung How Kau** Intraoral photobiomodulation-induced orthodontic tooth alignment: a preliminary study. - [s.l.] : BMC Oral Health (2016) 16:3 DOI 10.1186/s12903-015-0159-7, 2016.
96. **Tong Yan Yongjian Xie et al** Role of nitric oxide in orthodontic tooth movement (Review). - [s.l.] : International journal of molecular medicine DOI : 10.3892/ijmm.2021.5001, 2021.
97. **VIDAL** Le dictionnaire.
98. **Yasuhiro Kobayashi , Hiroshi Takagi et al** . Effects of local administration of ostéocalcin on experimental tooth movement . Angle Orthod.1998;68(3):259-266.
99. **Yohan Aboaf** Protocoles chirurgicaux d'accélération du déplacement orthodontique: innovationsou illusions?. - [s.l.] : Thèse de fin d'étude- Université de STRASBOURG, 2021.
100. **Zi Jun Liu Grégory J King , Gao Man Gu** Does human relaxin accelerate orthodontic tooth movement in rats ? . - [s.l.] : Acad Sci, 2005.
101. **Ziyu Li Jialiang Zhou, Song Chen** The effectiveness of locally injected platelet-rich plasma on orthodontic tooth movement acceleration. - [s.l.] : Angle Orthod.2021 May1;91(3):391-398, 2021.