

...

**ACCELERER ET OPTIMISER LE
MOUVEMENT DENTAIRE EN ORTHODONTIE**

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

*Présentée
Et soutenue publiquement par*

DUCHATEAUX Alban
Né le 22 juillet 1988

Le 31 Mars 2016 devant le jury ci-dessous

Président Monsieur le Professeur Bernard GIUMELLI
Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Stéphane RENAUDIN
Assesseur Monsieur le Docteur Marc-Henri NIVET
Assesseur Madame le Docteur Claire-Hélène MAIRE-FROMENT
Membre invité Monsieur le Professeur Claude DUCHATEAUX

UNIVERSITÉ DE NANTES	
Président	Pr LABOUX Olivier
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE	
Doyen	Pr AMOURIQ Yves
Assesseurs	Dr BADRAN Zahi Pr SOUEIDAN Assem Pr WEISS Pierre
Professeurs des Universités Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	
Monsieur AMOURIQ Yves Monsieur GIUMELLI Bernard Monsieur LESCLOUS Philippe	Madame LICHT Brigitte Madame PEREZ Fabienne Monsieur SOUEIDAN Assem Monsieur WEISS Pierre
Professeurs des Universités	
Monsieur BOULER Jean-Michel	
Professeurs Emérites	
Monsieur BOHNE Wolf	Monsieur JEAN Alain
Praticiens Hospitaliers	
Madame DUPAS Cécile Madame LEROUXEL Emmanuelle	Madame HYON Isabelle Madame GOEMAERE GALIERE Hélène
Maîtres de Conférences Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	Assistants Hospitaliers Universitaires des C.S.E.R.D.
Monsieur AMADOR DEL VALLE Gilles Madame ARMENGOL Valérie Monsieur BADRAN Zahi Madame BLERY Pauline Monsieur BODIC François Madame DAJEAN-TRUTAUD Sylvie Madame ENKEL Bénédicte Monsieur GAUDIN Alexis Monsieur HOORNAERT Alain Madame HOUCHMAND-CUNY Madline Madame JORDANA Fabienne Monsieur KIMAKHE Saïd Monsieur LE BARS Pierre Monsieur LE GUEHENNEC Laurent Madame LOPEZ-CAZAUX Serena Monsieur MARION Dominique Monsieur NIVET Marc-Henri Monsieur RENAUDIN Stéphane Madame ROY Elisabeth Monsieur STRUILLLOU Xavier Monsieur VERNER Christian	Monsieur AUBEUX Davy Madame BERNARD Cécile Madame BOEDEC Anne Madame BRAY Estelle Monsieur CLÉE Thibaud Madame CLOITRE Alexandra Monsieur DAUZAT Antoine Madame MAIRE-FROMENT Claire-Hélène Monsieur DRUGEAU Kevin Madame GOUGEON Béatrice Monsieur LE BOURHIS Antoine Monsieur LE GUENNEC Benoît Madame MAÇON Claire Madame MERAMETDJIAN Laure Madame MOREIGNE MELIN Fanny Monsieur PILON Nicolas Monsieur PRUD'HOMME Tony Monsieur ROLOT Morgan
Enseignants Associés	A.T.E.R.
Madame RAKIC Mia (MC Associé) Madame VINATIER Claire (MC Associé)	Monsieur LAPERINE Olivier

Mise à jour le 07/02/2016

Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur Bernard GIUMELLI

Chef du département de Prothèse de la Faculté d'Odontologie de Nantes.

Chevalier dans l'ordre National de la Légion d'Honneur.

- NANTES -

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de ce travail.

Pour votre grande expérience, votre bienveillance, et votre sympathie à mon égard depuis ces neuf années d'études au sein de l'université.

Veillez recevoir ici l'expression de mon plus grand respect et de ma plus profonde estime.

A Monsieur le Docteur Stéphane RENAUDIN

Maître de Conférences des Universités.

Praticien Hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement et de Recherche Dentaires.

Chef du Département d'Orthopédie Dento-Faciale.

- NANTES -

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de diriger cette thèse. Je vous prie de recevoir mes sincères remerciements et l'expression de mon plus profond respect pour l'intérêt que vous portez à ce travail.

Vous m'avez prodigué, tout au long de mon internat, votre science et votre savoir. J'ai la chance d'être à vos côtés depuis deux ans et je ne cesse d'apprendre et progresser grâce à votre disponibilité, votre enseignement, vos précieux conseils et votre dynamisme.

Vos qualités professionnelles tant dans la remise en question de vos connaissances que dans la recherche constante d'une orthodontie scientifique sont, pour moi, des exemples à suivre.

Veillez trouver l'expression de ma gratitude la plus sincère.

A Monsieur le Docteur Marc-Henri NIVET

Maitre de Conférences des Universités.

Praticien Hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement et de Recherche Dentaires.

Département d'Orthopédie Dento-Faciale.

- NANTES -

Vous avez accepté avec enthousiasme de rejoindre le jury de cette thèse.

Pour les précieux conseils que vous m'avez prodigué durant mon internat.

Pour vos qualités humaines, votre patience et votre gentillesse.

Veillez recevoir, ici, l'expression de ma plus sincère estime.

A Madame le Docteur Claire-Hélène MAIRE-FROMENT

Assistant Hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement et de Recherche Dentaires.

Département d'Orthopédie Dento-Faciale.

- NANTES -

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie de ce jury.

La pédagogie, l'expérience, la gentillesse et la disponibilité dont vous faites preuve contribuent sans cesse au progrès des étudiants.

Soyez assurée de ma reconnaissance et de mon profond respect.

Table des matières

INTRODUCTION	10
1. LE MOUVEMENT DENTAIRE : CONCEPTS BIOLOGIQUES	12
1.1. Cinétique du déplacement dentaire	12
1.2. Transformation de la force orthodontique en réponse cellulaire	12
1.3. Effets biologiques immédiats	13
1.1.1. Théorie piézoélectrique : la courbure de l'os alvéolaire	14
1.1.2. Théorie de la pression/tension	14
1.4. Effets biologiques à court terme	16
1.1.3. Côté tension	16
1.1.4. Côté pression.....	17
1.5. Effets biologiques à long terme	18
1.1.5. Mécanismes biologiques : inhibition des ostéoclastes.....	18
1.6. Conclusion	19
2. ACCÉLÉRER LE MOUVEMENT DENTAIRE	20
2.1. Application de médiateurs cellulaires	20
2.1.1. L'application locale	21
2.1.1.1. Rôle des prostaglandines (PG).....	21
2.1.2. Application générale	22
2.1.2.1. Rôle de la vitamine D.....	22
2.1.2.2. Rôle de l'hormone parathyroïdienne.....	23
2.1.3. Conclusion	24
2.2. Utilisation de stimuli physiques	25
2.2.1. Forces vibratoires.....	25
2.2.2. Courant électrique.....	28
2.2.3. Champ électromagnétique pulsé : PEMF (Pulse ElectroMagnetic Field)	29
2.2.4. LIPUS : Low Intensity Pulse UltraSound.....	30
2.2.5. Laser.....	30
2.2.6. Photo-biomodulation.....	31

2.3. Utilisation du phénomène d'accélération régionale (RAP)	33
2.3.1. Le phénomène de RAP	33
2.3.2. Corticotomie	34
2.3.3. Distraction alvéolo-dentaire	38
2.3.4. Distraction desmondontale.....	39
2.3.5. MTDLD : Monocortical Tooth Dislocation and Ligament Distraction.....	41
2.3.6. Alveocentesis : micro-ostéo-perforations	42
2.3.7. Corticision.....	43
2.3.8. Piézocision	44
2.3.9. Chirurgie orthognatique de première intention : « surgery first »	46
3. OPTIMISER LE MOUVEMENT DENTAIRE	49
3.1. Introduction	49
3.2. Les systèmes de moindres frictions	49
3.3. Les ancrages osseux	54
3.4. Les systèmes individualisés	57
CONCLUSION	60
ANNEXES	63
TABLES DES ILLUSTRATIONS	66
BIBLIOGRAPHIE	67

INTRODUCTION

Depuis 2003, selon l'HAS et le ministère de la Santé, plus d'un tiers des enfants nécessite un traitement orthodontique.

Chaque année plus d'un million de patients commence un traitement orthodontique en France et ce chiffre a augmenté de près de 40 % depuis 10 ans.

Le nombre de patients adultes est également en augmentation.

Intérêt de la question :

Dans une étude menée par Fink et Smith²⁹, la durée moyenne des traitements est de 23 mois, ce qui peut entraîner :

- Une augmentation du risque carieux individuel (RCI) et une altération de la santé parodontale. En effet, le traitement orthodontique est toujours associé à une colonisation microbienne des tissus dentaires et gingivaux. L'utilisation d'appareils orthodontiques intrabuccaux déclenche des changements qualitatifs et quantitatifs en modifiant les conditions physico-chimiques de la croissance bactérienne. L'appareil multiattaches encourage donc le développement de plaque dentaire et diminue son élimination.²⁴

- Une diminution de la compliance et de la motivation pouvant entraîner une mauvaise hygiène bucco-dentaire qui est l'un des facteurs de risque individuels majeurs du risque carieux selon l'HAS.

http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/risque_carieux_synthese_recos.pdf

- Et, dans 16% des cas une rupture du contrat de soin sans atteindre les objectifs de traitement. http://aspbd.free.fr/IMG/pdf/Abandon_ODF_2002.pdf

Mais aussi :

- Le traitement orthodontique semble toujours impliquer un certain degré de douleur et d'inconfort³³ qui peuvent être ressentis lors de la phonation, mastication et déglutition.
- Des doléances esthétiques liées aux appareillages sont exprimées par les patients, d'où l'essor de techniques dites « esthétiques » : boîtiers multiattaches en céramique et de plus petite taille, système d'aligneurs transparents et traitement lingual.

Le raccourcissement de la durée des traitements est donc un objectif très prisé tant pour le praticien que pour les patients.

D'un point de vue économique, la diminution du nombre de semestres serait un gain pour la sécurité sociale et le budget familial.

Ce travail de thèse a pour objectif de présenter les différentes techniques d'accélération et d'optimisation des mouvements dentaires et d'analyser la littérature y faisant référence.

1. LE MOUVEMENT DENTAIRE : CONCEPTS BIOLOGIQUES

Le déplacement dentaire est à la base de tout traitement orthodontique et les phénomènes physiologiques qu'il provoque sont complexes. Il s'accompagne systématiquement d'un remodelage des tissus dentaires et périodontaires.

Le mouvement orthodontique est le résultat d'une réponse biologique vis-à-vis d'une perturbation de l'équilibre physiologique. L'ensemble des phénomènes cellulaires qui vont alors survenir a pour but de recréer un équilibre momentanément perturbé par l'application d'une force.¹⁰

1.1. Cinétique du déplacement dentaire

Selon Baron¹⁰ :

- la « phase initiale » (24 heures à 2 jours) correspond à un mouvement rapide, immédiat et de faible amplitude de la dent au sein de son alvéole
- la « période de latence » (20 à 30 jours) lui fait suite, avec un déplacement dentaire faible ou nul. Cette phase correspond à un phénomène de hyalinisation du ligament alvéolo-dentaire (LAD) dans les zones de compression. Aucun mouvement ne se produit jusqu'à la disparition complète du tissu nécrotique par résorption directe ou indirecte
- la « période de post-latence » termine le déplacement jusqu'à l'activation suivante. Au cours de cette phase, le taux de déplacement augmente.

1.2. Transformation de la force orthodontique en réponse cellulaire

L'application d'un vecteur force sur la dent se traduit, d'un point de vue osseux, par un remodelage qui évolue selon un cycle « ARIF » (fig. 1) :

- la phase d'activation (A), qui correspond à la libération de collagénases par les fibroblastes et au déplacement des ostéoblastes pour leur permettre l'accès à la surface osseuse ;

- la phase de résorption (R), qui se caractérise par la présence d'ostéoclastes fonctionnels qui se fixent sur la matrice osseuse à résorber en créant un compartiment acide étanche
- la phase d'inversion (I), où les ostéoclastes quittent la lacune de résorption pour laisser place aux ostéoblastes
- la phase de formation (F), qui correspond au comblement de la lacune par du tissu ostéoïde synthétisé par des ostéoblastes qui deviennent par la suite des ostéocytes, minéralisant ce tissu néoformé.

Lorsque l'équilibre tissulaire est retrouvé, les réactions s'arrêtent. L'état de repos s'installe (fig. 1) : c'est la phase de quiescence. Ce cycle est présent et se reproduit à l'identique de façon physiologique chez tous les individus, à chaque activation ou réactivation. La balance entre formation et résorption s'équilibre le plus souvent et le matériel dentaire résorbé au cours des premières phases est intégralement remplacé.

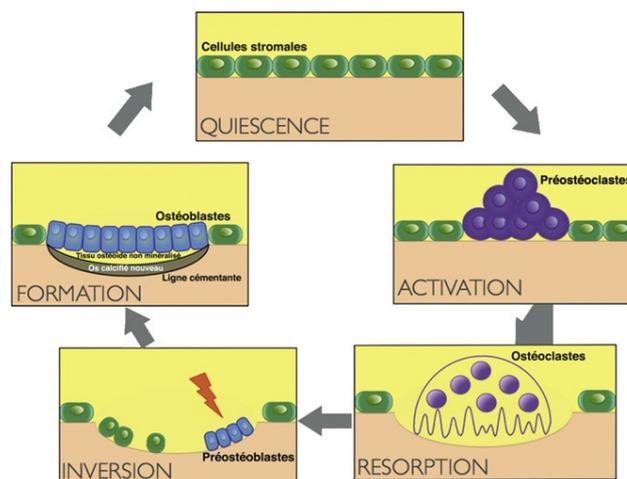


Fig. 1 : Cycle ARIF (d'après Baron¹⁰).

Voyons maintenant quels sont les effets biologiques conduisant à ce remodelage osseux.

1.3. Effets biologiques immédiats

Il existe deux théories principales expliquant l'initiation du mouvement dentaire. Elles décrivent la conversion d'un stress mécanique en réponse cellulaire⁶⁶.

- Théorie piézoélectrique : par mécano-transduction (premier mécanisme en jeu)
- Théorie de la pression/tension : par réaction inflammatoire

Bien que décalés dans le temps, ces deux phénomènes apparaissent à chaque fois et à chaque activation. Cependant, la réaction inflammatoire constitue la voie de signalisation la plus fréquente. Elle résulte de l'altération des tissus par application de la force orthodontique et met en jeu de nombreuses molécules de signalisation.

1.1.1. Théorie piézoélectrique : la courbure de l'os alvéolaire

La force appliquée courbe l'os, les structures solides du LAD et la dent¹². L'os est plus élastique que les structures précédemment citées et se courbe plus vite, créant un flux électrique où les électrons sont déplacés d'une maille cristalline à l'autre : c'est le phénomène de piézoélectricité.

La flexion de l'os alvéolaire permet de différencier deux faces :

- l'une concave, électronégative, qui stimule l'activité ostéoblastique
- l'autre convexe, électropositive, qui favorise l'activité ostéoclastique

En effet, l'application d'une contrainte est responsable de variations structurelles et fonctionnelles des protéines de la matrice extracellulaire, du cytosquelette et des membranes cellulaires modifiant leur perméabilité à certains ions.

Les réponses bioélectriques (piézoélectricité et propagation des potentiels) propagées lors de la courbure de l'os jouent un rôle central en tant que premier messager cellulaire^{22,23}.

1.1.2. Théorie de la pression/tension

L'application d'une force différencie deux côtés au niveau parodontal (d'après Oppenheim A., 1904) :

- le côté pression, opposé à l'application de la force, se caractérise par une désorganisation du LAD, avec diminution de la production de fibres et de la réplication cellulaire due à la constriction vasculaire, et à une chasse hydrique vers le côté en tension (Biens Ayers, 1965, cités par Dahan, 2006). En effet, l'écrasement des fibres nerveuses entraîne une sécrétion de premier messager (CGRP, substance P) qui active une cascade métabolique aboutissant à l'activation du remodelage osseux.
- le côté tension, où le ligament s'élargit, mettant en tension les fibres desmodontales. Il se produit une stimulation de la réplication cellulaire et une augmentation de l'activité proliférative⁶³.

Cette réaction inflammatoire aiguë permet d'amorcer le déplacement dentaire, mais engendre également des gênes fonctionnelles et des sensations douloureuses.

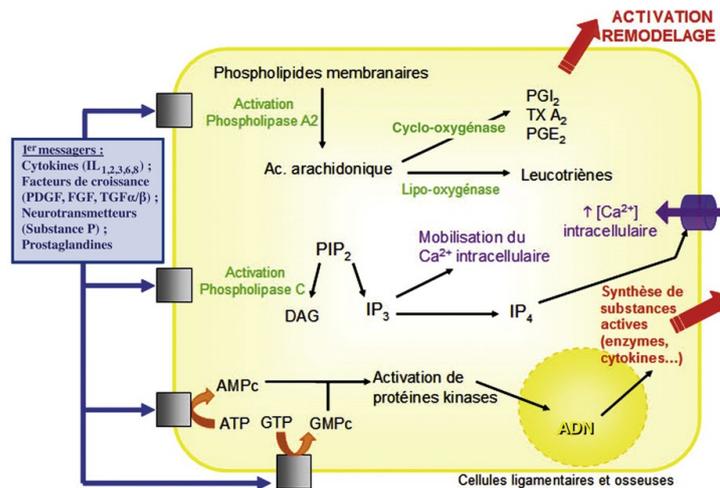


Fig. 2 : Principales voies de signalisation intracellulaire consécutives à l'application d'une force orthodontique³¹.

Ces substances ou premiers messagers interagissent directement ou indirectement avec toutes les populations cellulaires para-dentaires. Elles agissent selon un mode autocrine ou paracrine, en synergie avec de nombreuses substances (prostaglandines, facteurs de croissance, cytokines) produites par les cellules cibles (cellules stromales, fibroblastes, ostéoblastes, ostéoclastes, macrophages).

D'autres premiers messagers apparaissent sous l'effet de cytokines (substance P, IL₁), de la contrainte ou de facteurs hormonaux (para-T-hormone) tels que l'acide arachidonique, qui fait partie de la membrane cellulaire.

On connaît le rôle clé des thromboxanes A₂ et des prostaglandines E₁, I₂ et E₂ (activatrices de la résorption osseuse^{55,102,103}) dans le déplacement dentaire⁵¹.

En résumé, l'ensemble de ces premiers messagers issus des cellules immunitaires (réaction inflammatoire) et nerveuses (mécano-stranduction) va se lier aux récepteurs membranaires. Les informations sont alors converties en seconds messagers (molécules) au sein du cytoplasme cellulaire. Ces molécules interagissent alors avec des enzymes cellulaires (protéines kinases) libérant de nombreuses substances (PG, TX, cytokines...) permettant ainsi l'expression de la réponse cellulaire : mobilité, différenciation, prolifération, synthèse et sécrétion (fig. 2). Ces seconds messagers sont donc associés aux phénomènes de remodelage osseux¹⁰².

1.4. Effets biologiques à court terme

Ils correspondent à une période d'inflammation chronique qui se caractérise par des phénomènes prolifératifs impliquant des fibroblastes, des cellules endothéliales, des ostéoblastes, des cellules médullaires et des leucocytes. Cette phase, longue, persiste durant six semaines.

Selon le modèle proposé par Meikle⁶³, elle sera différente selon le côté considéré.

1.1.3. Côté tension

Les fibroblastes mis en tension synthétisent des cytokines qui, après une succession d'événements, entraînent leur différenciation en ostéoblastes et la reprise de l'activité des ostéoblastes quiescents, ce qui permet la synthèse de matrice ostéoïde et d'autres protéines structurales au contact de l'os alvéolaire.

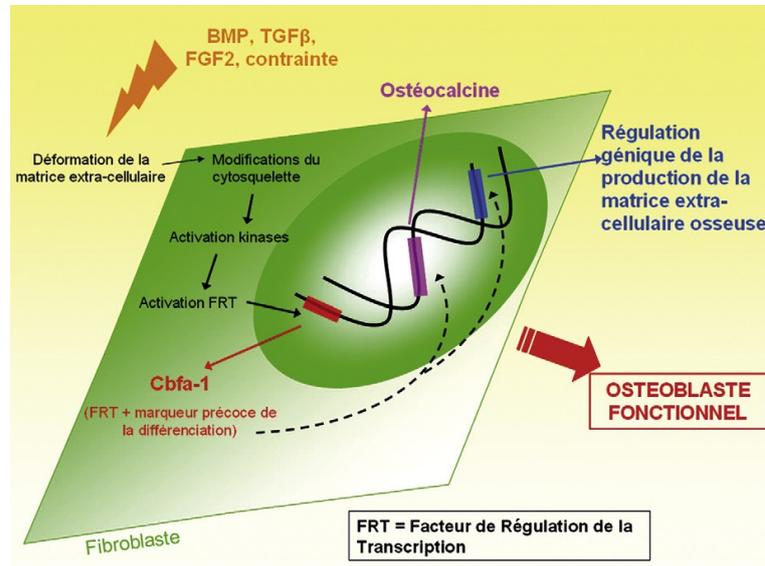


Fig. 3 : mécanismes de différenciation ostéoblastique³¹.

1.1.4. Côté pression

Plusieurs régions de compression apparaissent à différents niveaux du ligament. Les fibroblastes comprimés induisent l'apparition de cellules ostéo-destructrices, mais lorsque la compression entraîne une interruption du flux sanguin, un phénomène d'apoptose cellulaire se met en place avec l'apparition de zones hyalines acellulaires, bloquant ainsi le déplacement dentaire.

Mécanismes biologiques de différenciation et de régulation ostéoblastiques :

Les fibroblastes comprimés synthétisent des cytokines (IL_1 , IL_6) qui favorisent la diapédèse de monocytes et l'expression, par les ostéoblastes, du ligand RANKL intervenant dans la différenciation ostéoclastique. Les cellules monocytaires vont former des cellules géantes multinucléées exprimant le récepteur RANK. Elles vont alors s'activer en ostéoclastes fonctionnels au contact des ostéoblastes exprimant RANKL.

Les ostéoclastes sont des macrophages « tissu spécifique » issus de la différenciation des pré-monocytes et macrophages au niveau de la surface osseuse (fig. 4). Les nombreux facteurs de différenciation (CSF, IL, TNF...) sont produits par les cellules stromales.

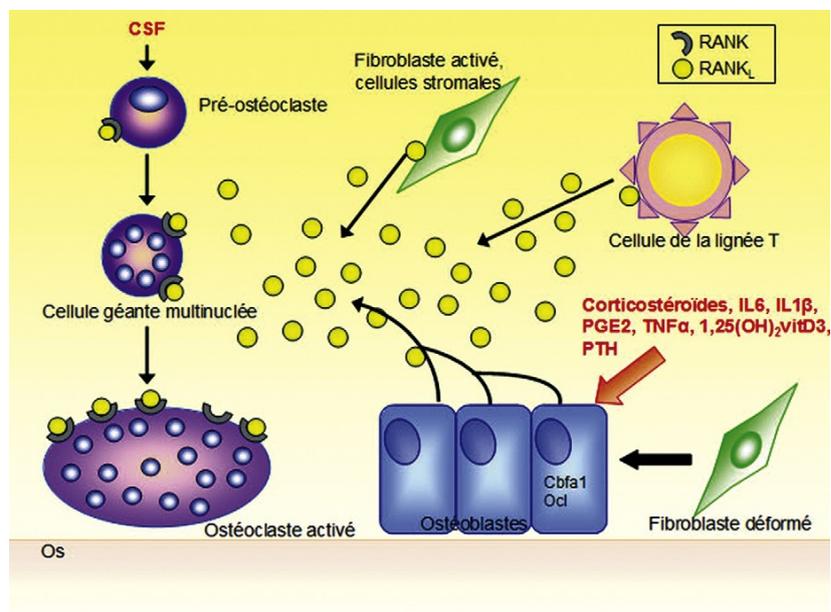


Fig. 4 : Mécanismes et molécules impliqués dans la différenciation ostéoclastique (d'après Lacey⁵⁴).

La résorption va se produire directement au contact des zones hyalines (résorption directe latérale ou frontale) ou à partir des espaces médullaires à distance de ces zones acellulaires (résorption indirecte ou sapante).

La reprise du déplacement ne peut se faire qu'après élimination du tissu nécrotique depuis les espaces médullaires (résorption indirecte) ou depuis les espaces viables du ligament (résorption sapante)⁵¹.

1.5. Effets biologiques à long terme

Lorsque la contrainte cesse, il se produit alors une inversion dans le cycle cellulaire et les ostéoclastes disparaissent, laissant place aux ostéoblastes. Les ostéoblastes produisent la matrice ostéoïde, qui sera par la suite minéralisée par les ostéocytes. Lorsque l'équilibre tissulaire de départ est retrouvé, les réactions cellulaires s'arrêtent.

1.1.5. Mécanismes biologiques : inhibition des ostéoclastes

Les ostéoclastes restent actifs tant que les cellules adjacentes produisent RANK_L. Sous l'influence de facteurs anaboliques et anti-résorptifs hormonaux (calcitonine, œstrogènes), immunologiques (IL₁₇, IL₄, PDGF, TGF β) ou inorganiques (calcium), les ostéoblastes produisent et sécrètent de l'ostéoprotégérine (OPG). Cette molécule est un leurre qui se lie à RANK_L, empêchant ainsi sa fixation sur son récepteur transmembranaire RANK (fig. 5), stoppant l'activité ostéoclastique.

Les ostéoblastes jouent donc un rôle clé au cours des phénomènes osseux, car ils interviennent à la fois dans l'activation de l'ostéoclastogénèse, l'inhibition de la résorption et la synthèse d'une néomatrice osseuse.

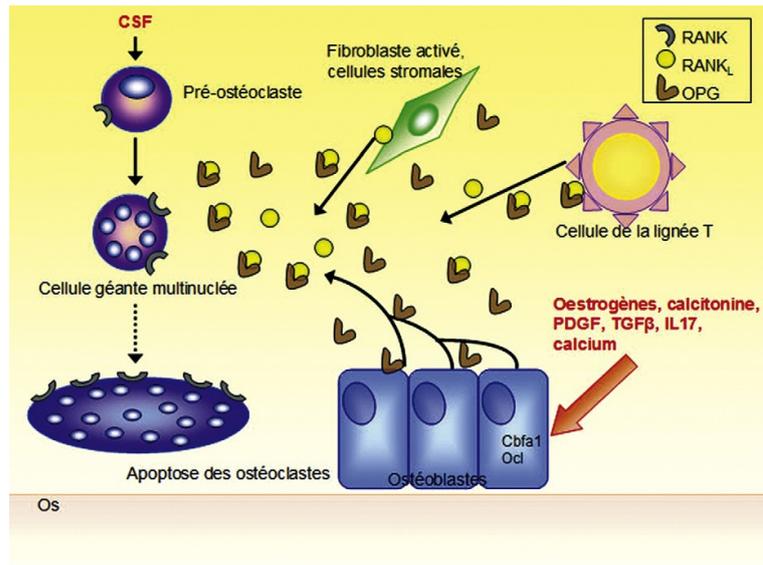


Fig. 5 : Mécanismes et molécules impliqués dans l'inhibition ostéoclastique (d'après Lacey⁵⁴).

1.6. Conclusion

Les récentes avancées dans les différents domaines de la biologie ont permis une meilleure compréhension des mécanismes impliqués dans les mouvements orthodontiques. Il semble donc essentiel de connaître et maîtriser ces mécanismes afin d'accroître l'efficacité de nos thérapeutiques, de prévenir la survenue d'effets délétères (ankylose, résorptions radiculaires), mais également de les utiliser comme une rampe de lancement de nouvelles techniques améliorant le déplacement dentaire.

2. ACCÉLÉRER LE MOUVEMENT DENTAIRE

2.1. Application de médiateurs cellulaires

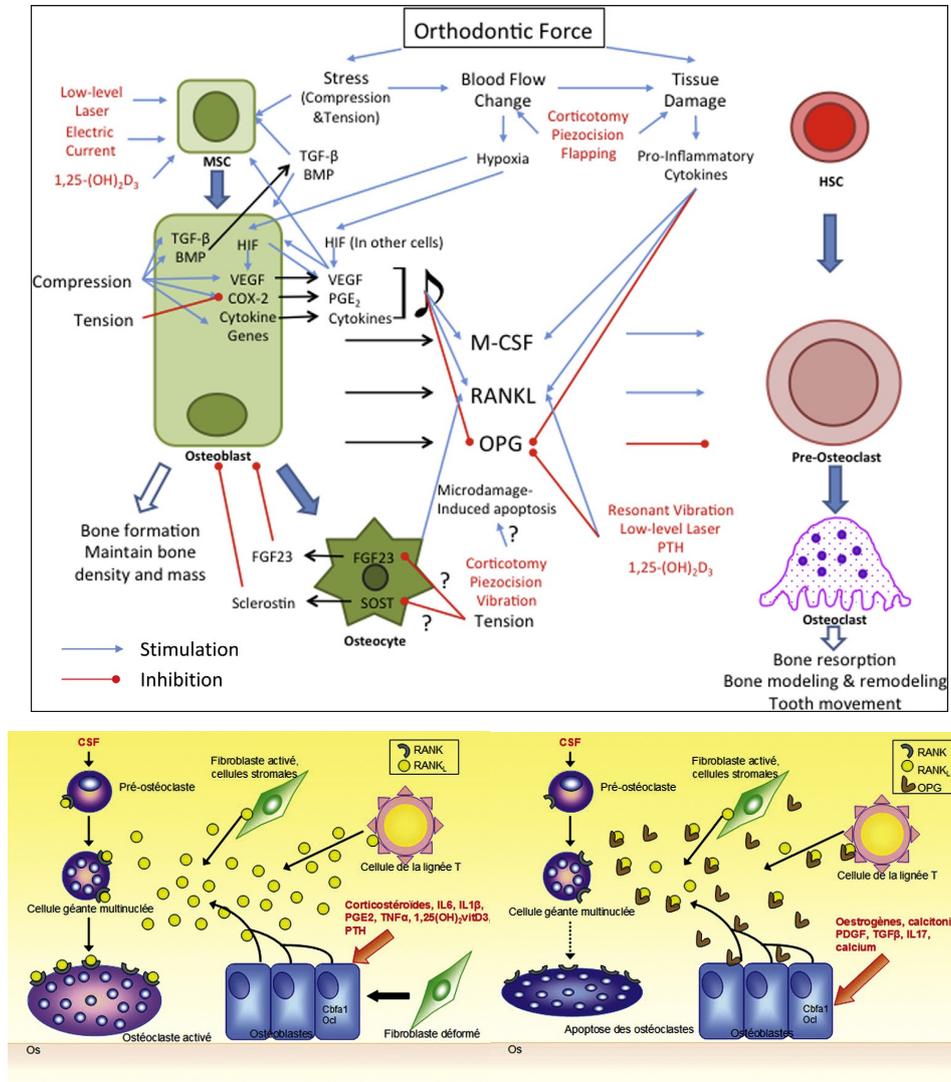


Fig. 6 : schémas récapitulatifs des mécanismes d'action cellulaire des différentes techniques présentées.

2.1.1. L'application locale

2.1.1.1. Rôle des prostaglandines (PG)

Les prostaglandines sont des facteurs lipidiques locaux produits par les ostéoblastes en réponse à la sécrétion de prostaglandines G/H synthases (PGHS) ou cyclo-oxygénases (COX-1 et 2). La PGE₂, principale prostaglandine synthétisée par les ostéoblastes, a des effets variables sur le métabolisme osseux avec des effets stimulateurs ou inhibiteurs de la formation et de la résorption osseuse. Ces effets varient selon leur dose et mode d'administration.

Plusieurs expériences sur des animaux ont montré que l'application locale de la PGE₁, PGE₂, ou des analogues de PGE₁, PGE₂, ou thromboxane A₂ augmentait la vitesse du déplacement orthodontique^{40,55,103}.

Analyse de littérature :

Yamasaki et collaborateurs¹⁰³ ont réalisé une étude dans laquelle la population incluse a été divisée en trois groupes. Un premier groupe a reçu d'un côté une injection sous-muqueuse de prostaglandine E₁ (PGE₁) et de l'autre côté une substance placebo (véhicule) au niveau des prémolaires qui seront ensuite extraites. La vitesse de déplacement des dents était environ deux fois plus rapide sur le site de l'injection de PGE₁. Un résultat similaire a été obtenu dans le deuxième groupe où les injections de PGE₁ ont été administrées sur les sites de rétraction canine pendant une période de trois semaines. Le troisième groupe a été traité par rétraction canine et application de PGE₁ sur un seul côté, ce qui a entraîné un mouvement 1,6 fois plus rapide sur le côté traité. Les chercheurs n'ont pas noté d'effets macroscopiques indésirables que ce soit dans le tissu de la gencive ou dans l'os alvéolaire. Seule une légère douleur liée au mouvement dentaire a pu être observée.

Une deuxième étude préliminaire a été réalisée chez 5 patients par Spielmann et collaborateurs⁸⁹, avec l'objectif commun d'évaluer l'effet de la PGE₁ sur le mouvement dentaire. A été administré, dans la région palatine des prémolaires, un anesthésique local contenant 0,1 ml à 0,01% de PGE₁, et, au niveau des prémolaires controlatérales, 0,1 ml de solution saline sans PGE₁. Les injections ont été répétées à intervalles hebdomadaires.

En moyenne, les dents expérimentales se sont déplacées trois fois plus rapidement que les dents « contrôle », ceci sans aucune modification pathologique.

Patil et collaborateur⁷⁴ en 2005, ont effectué un essai clinique portant sur 14 patients ayant bénéficié d'injections d'une dose de 1 µg de PGE1 pendant trois jours, en utilisant de la lidocaïne en tant que substance véhicule dans la zone vestibulaire distale des canines. Le côté gauche, témoin, a reçu uniquement de la lidocaïne. Les patients ont été suivis pendant 60 jours et les auteurs ont conclu qu'une dose minimale de PGE1 augmente la vitesse de déplacement dentaire.

Conclusion :

L'injection locale de PGE1 semble accélérer le mouvement dentaire de recul canin, et ce sans modifications histologiques particulières. Cependant, le design peu convaincant de ces études ne nous permet pas d'utiliser ces conclusions pour une éventuelle application clinique. De plus, les PG sont des inducteurs puissants de la douleur ce qui peut amplifier la réaction algique des patients. Une autre préoccupation concerne l'augmentation de la résorption radiculaire concomitante au mouvement dentaire accéléré.^{55,81}.

Il est important de noter que certains médicaments anti-inflammatoires non stéroïdiens, tels que l'aspirine, inhibent les enzymes COX-1 et COX-2 qui catalysent l'étape de formation de la prostaglandine. Leur prise concomitante au traitement par PG tend donc à diminuer la cinétique du mouvement dentaire^{97,65}.

2.1.2. Application générale

2.1.2.1. Rôle de la vitamine D

Elle est impliquée dans l'homéostasie du calcium et du phosphate. Sa principale action consiste à stimuler leur absorption intestinale.

Au niveau de l'os, elle active la différenciation et la maturation des ostéoblastes en présence d'hormone parathyroïdienne (PTH). À doses physiologiques, l'effet est anabolique et les ostéoblastes sécrètent la matrice osseuse. À doses importantes, l'effet est inverse. Les ostéoblastes activent la différenciation et la prolifération des ostéoclastes qui vont détruire l'os et permettre la mobilisation du calcium. Elle participe donc, par les variations de son dosage sanguin, au remodelage osseux⁹¹. Elle régule également l'homéostasie calcique en agissant sur la parathyroïde, où elle induit une baisse de la prolifération des cellules parathyroïdiennes qui sécrètent la PTH.

Analyse de Littérature :

Blanco et collaborateurs¹⁴ ont cherché à déterminer si une dose systémique de calcitrol (0,25 µg) administrée à un groupe de patient, accélère le mouvement de rétraction canine par rapport à un groupe témoin sur une durée de 60 jours.

Vingt patients (d'environ 20 ± 5 ans) dont les canines doivent être distalées ont été inclus dans cette étude. Les sujets ont été répartis au hasard entre deux groupes : dix patients ont reçu une dose orale quotidienne de calcitrol (0,25 µg) pendant 60 jours et ont été revus à dix reprises par leur praticien. Les dix sujets restants ont agi en tant que témoins. Une augmentation des mouvements dentaires a été retrouvée dans le groupe expérimental ($p = 0,00028$). Les chercheurs ont conclu que la vitesse moyenne de déplacement était plus grande dans le groupe expérimental que dans le groupe témoin. Cependant, le niveau de preuve dans cet article est trop faible pour confirmer les conclusions des auteurs.

2.1.2.2. Rôle de l'hormone parathyroïdienne

Elle est la principale hormone régulant le remodelage osseux et l'homéostasie calcique. Elle augmente la concentration de calcium dans le sang par stimulation de la résorption osseuse ainsi que par régulation de la réabsorption de calcium et de D3-1-alpha-hydroxylase-25-hydroxy dans les reins, qui, sous la forme de 1,25-dihydroxy-vitamine-D3, augmente l'absorption du calcium dans l'intestin grêle.

Les études animales ont montré que la perfusion continue ou l'injection locale chronique de l'hormone parathyroïdienne accélère le mouvement orthodontique d'environ 1,6 à 2 fois, et augmente considérablement le nombre d'ostéoclastes^{87,88}.

Il est bien connu que l'élévation chronique de l'hormone parathyroïdienne conduit à des phénomènes pathologiques dans plusieurs organes, notamment les reins et les os. Ces études à court terme ne déterminent pas les effets à long terme de l'injection de cette hormone à la dose employée pour accélérer le mouvement des dents, en particulier son impact sur la fonction rénale et sur l'état de l'os. C'est pourquoi la sécurité sanitaire demeure une préoccupation majeure pour son application clinique en orthodontie. Même si une injection locale accompagnée de systèmes de contrôle de la libération de la PTH peut augmenter l'efficacité et réduire les risques, un système de libération plus efficace est encore nécessaire, et la sécurité d'emploi doit être étudiée avec soin.

La 1,25-dihydroxy-vitamine-D3 favorise la réabsorption du calcium dans l'intestin grêle. Elle agit également sur les cellules osseuses et favorise le remodelage osseux⁹¹. Des études animales ont indiqué que l'injection locale de 1,25-dihydroxy-vitamine-D3 accélère le mouvement orthodontique d'environ 1,2 à 2,5 fois^{40,21,93}. L'examen histologique osseux montre que la 1,25-dihydroxy-vitamine-D3 stimule la formation des ostéoclastes de manière dose dépendante, en synergie avec la force mécanique, provoque une résorption alvéolaire plus importante²¹ et stimule également la formation des ostéoblastes et la formation osseuse, augmentant ainsi le volume osseux^{40,42}.

Cependant, il est discutable de transposer ce modèle animal sur l'homme. Des études et recherches supplémentaires sont nécessaires notamment concernant l'utilisation sécurisée de ces facteurs systémiques (PTH et vitamine D3).

2.1.3. Conclusion

L'apport de nouvelles connaissances concernant le déplacement dentaire provoqué ainsi que les différents mécanismes mis en jeu conduisent à envisager de nouveau des techniques médicamenteuses dans le traitement orthodontique. Cependant, les études sont encore trop peu nombreuses, et les effets indésirables trop importants notamment par voie générale, pour permettre une réelle application clinique.

L'application locale quant à elle semble plus réalisable, les premières études sur l'humain ont montré un bon potentiel même si l'on déplore encore un faible niveau de preuve. L'injection d'une solution active est un geste facile, rapide et sûr, qui pourrait être largement employé dans la pratique clinique. Il reste maintenant à déterminer les doses et molécules idéales pour un effet à long terme, ainsi que leur application plus globale dans le traitement orthodontique, notamment dans les phases de nivellement.

2.2. Utilisation de stimuli physiques

2.2.1. Forces vibratoires

Mécanisme d'action : l'utilisation de forces vibratoires de faible amplitude et de haute fréquence permet d'augmenter les phénomènes de remodelage des tissus osseux et périodentaires. Il s'agit de forces cycliques puisqu'elles ne sont utilisées que quelques minutes par jour.

Les théories scientifiques démontrent, sur modèles animaux, que les forces vibratoires stimulent l'activité ostéoclastique par augmentation de la libération de RANK-L ce qui favorise le remodelage osseux^{59,71,77}.

C'est le laboratoire BioluxResearch qui, aujourd'hui, utilise ces propriétés physiques et biologiques et commercialise l'AcceleDent Aura®.

Présentation :

L'AcceleDent Aura® est décrit comme un accessoire destiné à être utilisé au cours d'un traitement orthodontique conjointement à d'autres dispositifs orthodontiques.



Image 1 : l'AcceleDent Aura®

Une utilisation quotidienne d'une durée de vingt minutes de ce dispositif est recommandée. Un suivi informatique est possible pour le patient en connectant le dispositif à un ordinateur : il s'agit du « FastTrac » ou rapport d'utilisation. On peut y consulter le graphique d'utilisation quotidienne d'AcceleDent Aura® accompagné des différents pourcentages d'utilisation en fonction du temps : % journalier, % des 30 derniers jours, nombre total de sessions et nombre total de minutes d'utilisation pour chaque épisode de traitement.

Comme l'annonce son créateur, son effet sur le temps de traitement total n'a pas été établi.

La raison invoquée par le laboratoire est que de nombreux facteurs individuels peuvent avoir une incidence sur le traitement orthodontique.

Le laboratoire recommande de discuter avec l'orthodontiste afin de déterminer l'incidence que ce dispositif peut avoir sur le plan de traitement spécifique.

Analyse de littérature :

L'objectif principal de cette publication menée par Gkantidis et collaborateur³² est d'analyser les différentes réponses biologiques et mécaniques des forces orthodontiques générées par un traitement multiattaches classique, arc continu et boîtiers auto-ligaturants (AL), boîtiers auto-ligaturants avec AcceleDent (AL-A) et boîtiers auto-ligaturants avec laser à faible intensité. L'objectif secondaire est d'estimer l'efficacité clinique pour chaque type de technique.

Il s'agit d'un essai contrôlé randomisé, en groupes parallèles et double aveugle (dans certains cas). Les résultats concluent qu'il existe une augmentation des marqueurs biologiques (IL1-B et GCF) dans un traitement avec AcceleDent. Ces marqueurs ont, bien sûr, un effet positif sur le remodelage osseux. Les résultats montrent une augmentation de l'efficacité de l'alignement des incisives inférieures dans les quatre premières semaines essentiellement. Cependant, aucun effet bénéfique significatif des forces vibratoires sur la durée de la phase d'alignement des incisives inférieures n'a été constaté.

On déplore un échantillonnage faible des différents groupes, ce qui diminue la puissance de l'étude.

En juin 2015, Pavlin et collaborateurs ont mené une étude⁷⁵ prospective, en groupes parallèles, en double aveugle, randomisée et contrôlée ayant comme objectif d'évaluer l'effet des forces vibratoires sur la vitesse de déplacement orthodontique. Dans l'ensemble, 45 patients ont été traités par appareils fixes à la « San Antonio Department Orthodontics » (UTHSC). Les critères d'inclusion étaient : l'extraction des premières prémolaires maxillaires, avec un ancrage postérieur maxillaire maximal, et au moins 3 mm d'espace d'extraction après l'alignement initial. Les sujets inscrits ont été randomisés en deux groupes, vibrations (n = 23) et contrôle (n = 22), en utilisant un plan de randomisation généré par ordinateur. Tous les fournisseurs de soins, les enquêteurs et les patients ont été inclus en aveugle lors de la session d'intervention. Les vibrations ont été appliquées au premier groupe à la fréquence de 20 minutes par jour à l'aide du dispositif AcceleDent®, qui a livré une force de 0,25 N (25 g) à une fréquence de 30 Hz. De la même façon, le groupe témoin a subi ce protocole, mais à l'aide d'un dispositif ne délivrant pas de vibrations. Le taux mensuel moyen de rétraction canine maxillaire dans un espace d'extraction a été analysé chez les 45 sujets (groupe ITT). Le taux moyen de mouvement était significativement plus élevée pour le groupe AcceleDent® : 1,16 mm/mois (IC à 95% ; 0,86 à 1,46), comparativement à 0,79 mm/mois (IC à 95% ; 0,49 à 1,09) dans le groupe contrôle, avec une différence moyenne de 0,37 mm/mois (IC à 95% ; 0,07 à 0,81, p = 0,05). Ces résultats ont montré que des vibrations cycliques de bas niveau (0,25 N à 30 Hz) augmentent la vitesse de déplacement de la dent lorsqu'elles sont appliquées en complément d'un traitement orthodontique.

Conclusion :

Au vu de cette dernière publication, l'utilisation de forces cycliques vibratoires semble adapté à l'accompagnement d'un traitement orthodontique afin de raccourcir sa durée lors des phases de recul canin. D'autres investigations sont cependant nécessaires pour envisager un emploi généralisé de cette technique.

2.2.2. Courant électrique

Mécanisme d'action : des impulsions électriques, calibrées en ampères, stimuleraient l'activité enzymatique des cellules périodontales et ostéoblastiques, ce qui influencerait sur la cinétique du remodelage osseux. En effet, Davidovitch²³ et collaborateurs ont démontré chez les chats une augmentation de la sécrétion d'AMP et GMP cycliques par des cellules ostéoblastiques et par des cellules du LAD proches de la cathode.

Analyse de littérature :

Davidovitch²² et collaborateurs ont étudié chez dix rats l'effet d'un courant électrique sur le mouvement dentaire. Ils ont montré des résultats plus rapides en présence d'un courant électrique.

Kim⁴⁵ et collaborateurs ont publié une étude de cohorte, en split mouth, sur sept patients, qui bénéficiaient d'une rétraction canine après extractions des premières prémolaires. Les patients recevaient, d'un côté, une force orthodontique associée à l'application d'un courant électrique de 20 μ A pendant 5 heures par jour et de l'autre, seulement une force orthodontique de rétraction canine.

Les résultats montraient une différence de vitesse de rétraction canine de 30 % entre les deux groupes.

Cependant, compte tenu du faible niveau de preuve et du manque de fiabilité du dispositif, on ne peut conclure à une amélioration de la cinétique du mouvement dentaire par application d'un courant électrique.



Image 2⁴⁵ : le dispositif électrique appliqué sur une canine maxillaire gauche.

2.2.3. Champ électromagnétique pulsé : PEMF (Pulse ElectroMagnetic Field)

Mécanisme d'action : à l'instar du courant électrique, le champ magnétique stimulerait les activités enzymatiques des AMP et GMP cycliques, favorable au remodelage osseux. Des travaux ont été réalisés par Bassett¹¹ et collaborateurs sur l'utilisation du PEMF dans les fractures des os longs. Malgré la recherche considérable en orthopédie, leurs applications en dentisterie et principalement en orthodontie ont été limitées à une capacité à augmenter le taux de mouvement dentaire sur modèle animal.

Présentation : les différents produits délivrent un champ électromagnétique pulsé d'une intensité de l'ordre du milli tesla. La fréquence, quant à elle, évolue dans une gamme de 1 à 50 Hz (Hertz).

Analyse de littérature :

Showkatbaksh et collaborateurs, en 2010, ont réalisé une étude⁸⁵ de cohorte, en split mouth, sur dix patients nécessitant une distalisation canine après extraction des premières prémolaires. Ils ont utilisé un générateur intégré à un appareil amovible qui délivre un champ électromagnétique de 1 Hz et 0,5 milli tesla. Un dispositif a été mis en place afin d'éviter toute exposition du groupe contrôle au champ électromagnétique.

Les résultats montraient une différence, après $5,0 \pm 0,6$ mois, de $1,57 \pm 0,83$ mm de plus que le groupe contrôle ($p < 0,001$).

Cependant, le design de l'étude ne permet pas de conclure statistiquement à une accélération du mouvement dentaire lors de la fermeture des espaces d'extractions des premières prémolaires. On peut reprocher à cette étude le manque d'investigation sur de probables effets indésirables ainsi que l'absence de consensus sur la durée, l'intensité et la fréquence d'application du dispositif.

2.2.4. LIPUS : Low Intensity Pulse UltraSound

Mécanisme d'action : il s'agit de l'utilisation d'ondes ultrasonores transmises aux différents tissus pour favoriser les phénomènes de cicatrisation et de promotion cellulaire.

Ce procédé est déjà utilisé en médecine comme outil thérapeutique, opératoire, et diagnostique⁶². Le LIPUS est facile d'utilisation et non invasif du fait des faibles niveaux d'énergie employés¹⁰⁴. Il est approuvé par la FDA (Food and Drug Administration), équivalent américain de l'ANSM (Agence National de Sécurité des Médicaments et produits de santé), et reconnu pour améliorer l'ostéogenèse ainsi que le remodelage osseux⁴ notamment dans la guérison des fractures osseuses.

Cependant, aucune publication illustrant l'utilisation du LIPUS sur les mouvements dentaires humains n'est à ce jour disponible. Au vu des travaux¹⁰¹ de Hui Xue et collaborateurs sur des rats et la facilité d'utilisation de ce procédé non invasif, le LIPUS semble une technique prometteuse pour accélérer le mouvement dentaire.

2.2.5. Laser

Le laser consiste en l'utilisation de faibles niveaux d'énergie afin de stimuler le remodelage osseux.

Analyse de littérature :

La littérature sur ce sujet est assez fournie, plusieurs méta-analyses^{32,60} ont été publiées.

Cependant, les résultats des ces analyses ne concordent pas forcément. Il semblerait néanmoins que la LLLT serait efficace en tant qu'accélérateur du mouvement dentaire lors de la rétraction canine.

Conclusion :

En utilisant les propriétés de biostimulation du laser, le mouvement dentaire de recul canin a pu être accéléré sur une période de plus de trois mois. Des recherches complémentaires sont nécessaires dans ce domaine avec une attention supplémentaire aux protocoles d'application et aux effets indésirables. Une analyse coût-bénéfice paraît indispensable pour permettre une routine clinique de cette technique.

2.2.6. Photo-biomodulation

Mécanisme d'action : la photothérapie 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, ostéoclastes et fibroblastes intervenant dans le remodelage osseux⁷⁶.

Présentation : la photo-biomodulation ou photo-biostimulation utilise des niveaux faibles d'énergie présentés sous forme de lumière : ce sont les LED ou light emitting diodes. Elle fait partie, avec les lasers, des photothérapies.

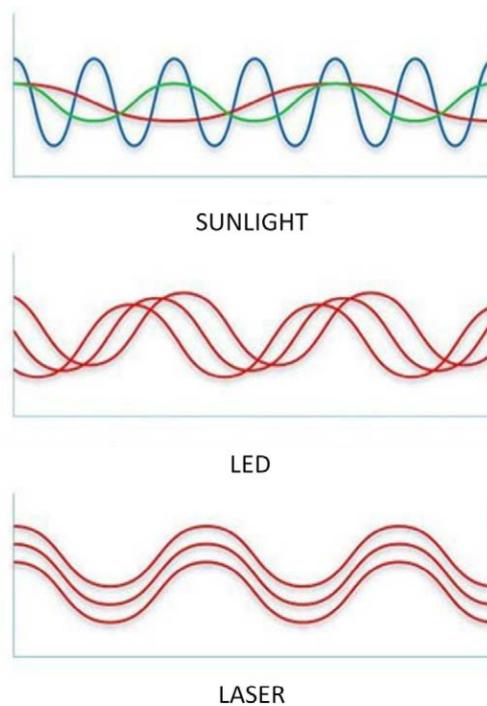


Fig. 7 :

Comparaison des longueurs d'onde du soleil (lumière blanche), des LED et des lasers.

La lumière blanche est composée de différentes variations de longueur d'onde, la lumière LED est composée de longueurs d'onde de courte amplitude avec une faible cohérence spatiale tandis que le laser présente des longueurs d'onde concordantes au niveau du temps et de l'espace et de courte amplitude.

La LED bénéficie de faibles consommation d'énergie et d'une faible émission de chaleur.

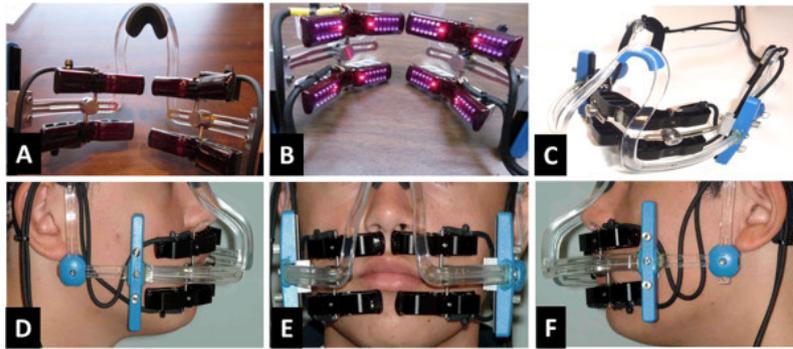


Image 3⁴¹ : dispositif de photo-biomodulation

	LASER	LED
COUT	+	-
SECURITE	-	+
CHALEUR	+	-
FOCUS	étroit	large
SEANCE CLINIQUE	+	+
FAISCEAU	cohérent	incohérent

Fig. 8 : comparaison des caractéristiques entre laser et LED

Analyse de la littérature :

L'objectif de cette étude⁴¹ menée par Kau, est de déterminer si la photo-biomodulation réduit le temps de traitement dans l'alignement dentaire. Il s'agit d'une étude prospective, contrôlée non randomisée, comparant l'utilisation d'un traitement classique et d'un traitement avec photo-biomodulation. Quarante-vingt-dix patients sont inclus, 73 dans le groupe expérimental et 17 dans le groupe contrôle. Il y a 68 femmes et 28 hommes. L'appareil utilisé délivre une lumière infrarouge d'une longueur d'onde de l'ordre de 850 nm et 60mW/cm², pendant 20 à 30 minutes par jour ou 60 minutes par semaine et ciblant l'os alvéolaire du maxillaire et de la mandibule.

Les auteurs ont montré, dans cette étude de faible niveau de preuve, un meilleur alignement et nivellement des dents antérieures avec l'utilisation de la photo-biomodulation.

Cependant, la faiblesse de cette étude tant dans le design (recrutement et composition des groupes) que dans les résultats (groupe expérimental : 1,1 +/- 1,0 ; contrôle 0,5 +/- 0,4 et $p < 0,001$) ne nous pas permet de conclure à un réel gain de rapidité des mouvements dentaires. On peut regretter que cette étude soit financée par le laboratoire BioluxResearch ainsi que l'absence d'investigations sur de potentiels effets indésirables.

Cependant, en dépit de la récente reconnaissance de la photothérapie dans la production d'effets bio-stimulants, davantage d'études cliniques sont nécessaires afin d'en discerner les mécanismes d'action⁶.

Et, malgré les similitudes entre les effets de la LED photothérapie et ceux de la LLLT, il n'y a pas encore de publications de bon niveau de preuve sur l'effet de la bio-modulation sur le déplacement dentaire.

2.3. Utilisation du phénomène d'accélération régionale (RAP)

2.3.1. Le phénomène de RAP

Dans les années 1980, l'orthopédiste Harold Frost cité par Sebaoun⁹⁰, étudie les foyers fracturaires sur les os longs et observe que toute agression chirurgicale des tissus mous ou osseux provoque, à proximité immédiate du site d'intervention, un phénomène complexe de cicatrisation grâce à une réorganisation tissulaire importante. Il nomme cette cascade d'événements physiologiques : le Phénomène Régional d'Accélération ou RAP (Regional Acceleratory Phenomenon).

Dans l'os, cette réorganisation consiste en une augmentation de l'activité ostéoclastique qui se traduit par un turn-over cellulaire accru et par une diminution de la densité et de la calcification osseuses. Il s'ensuit un état ostéopénique transitoire post-chirurgical laissant place à une cicatrisation osseuse complète, avec un rétablissement de la densité osseuse d'origine.

Le processus de réparation de l'os cortical se réalise en quatre stades :

- 1) Hématome aboutissant au tissu de granulation
- 2) Cal mou primaire
- 3) Cal dur
- 4) Remodelage

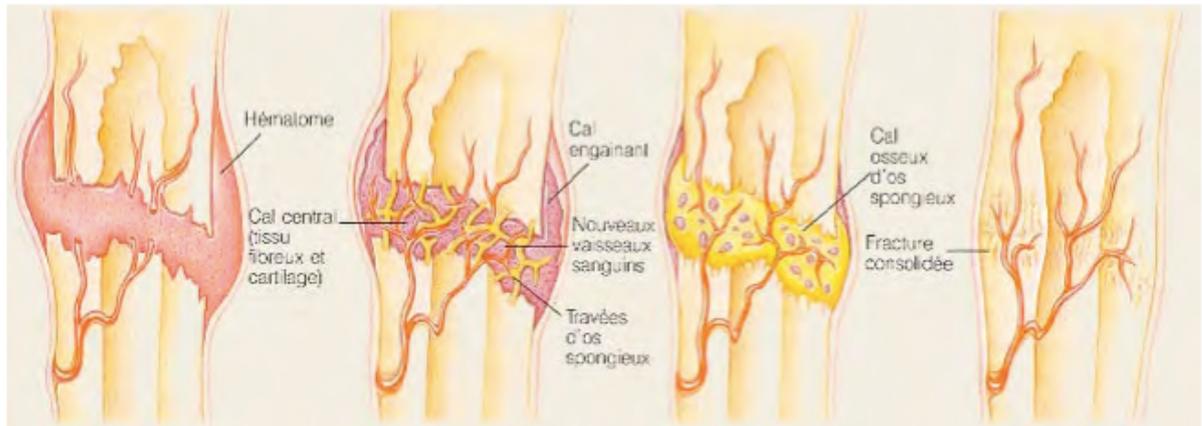


Fig.9 : le processus de cicatrisation osseuse.

<http://www.cofemer.fr/UserFiles/File/Reparationosseuse.pdf>

2.3.2. Corticotomie

Présentation : une incision sulculaire classique est pratiquée sur les versants vestibulaires et palatins ou linguaux du maxillaire et de la mandibule. Ensuite, un large lambeau muco-périosté incluant les papilles est levé et récliné au-delà des apex permettant un accès bien dégagé à toute la surface de l'os cortical entourant les racines. Les traits d'ostéotomie verticaux sont réalisés entre les dents à déplacer, ils traversent la totalité de l'os cortical et superficiellement l'os médullaire pour ne pas léser le ligament et le pédicule vasculaire dentaire. Une greffe osseuse d'apposition peut être associée, mais ceci n'est pas admis par tous les auteurs.

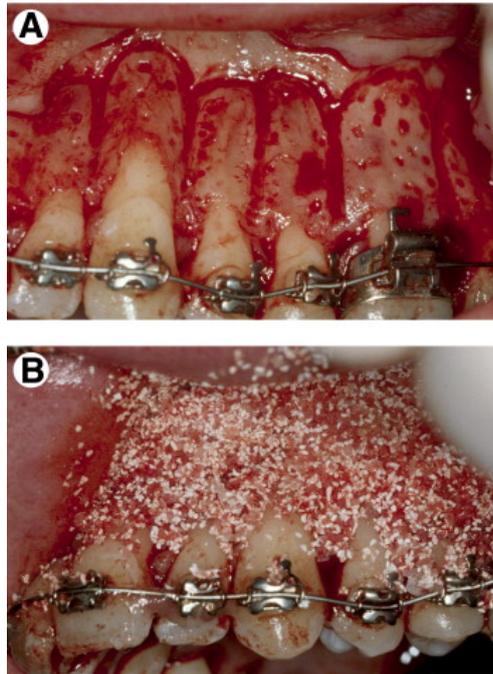


Image 4⁹⁹ : A : stries de corticotomie
B : comblement osseux

Analyse de littérature :

Apparues depuis plusieurs décennies, il faut attendre les travaux de Shoreibah et collaborateurs⁸⁴ pour évaluer l'efficacité des corticotomies dans la cinétique des mouvements dentaires orthodontiques. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des corticotomies facilitant l'orthodontie (CFO) chez les adultes par rapport à un traitement conventionnel.

Vingt patients adultes présentant un encombrement modéré des incisives inférieures ont été répartis au hasard et traités soit avec une technique modifiée de CFO (Groupe I) ou par un traitement orthodontique classique (Groupe II). Le temps de traitement total a été calculé en semaines à partir du moment de l'activation de l'appareil orthodontique immédiatement après la procédure de corticotomie et lors de la dépose des brackets.

Un examen clinique et notamment parodontal avec un bilan radiographique standardisé a été effectué avant le traitement orthodontique, lors de la dépose et six mois après le traitement. Les variables radiographiques primaires étaient : la longueur des racines et la densité osseuse.

La durée du traitement pour les patients des deux groupes a varié de 14 à 20 semaines. Il y avait une différence statistiquement significative entre les deux groupes en ce qui concerne la durée du traitement : 17,5 +/- 2,8 semaines dans le groupe de CFO et 49 +/- 12,3 semaines dans le groupe conventionnel. Aucune modification significative des profondeurs de sondage n'a été remarquée dans les deux groupes. Le pourcentage net de changement qui a eu lieu en terme de densité osseuse par rapport au début du traitement et à six mois post-traitement n'a pas été statistiquement significatif entre les deux groupes. Le groupe I a présenté une diminution de la densité osseuse de 21,8%, tandis que le groupe II a présenté une diminution de 37,2%. Le groupe I a présenté une diminution moyenne de la longueur des racines de 0,02 +/- 0,10 mm, tandis que le groupe II a présenté une diminution nette moyenne de 1,4 +/- 0,8 mm, ce qui n'a pas été statistiquement significatif.

Conclusion :

Les résultats de l'étude suggèrent que le mouvement des dents après CFO modifié réduit considérablement le temps total de traitement. L'incidence des résorptions dentaires et des troubles parodontaux a tendance à la réduction (non significativement différent entre les deux groupes), mais il faut minimiser ce dernier résultat, car l'idée de diminuer le temps de traitement peut augmenter la coopération du patient et donc la qualité de son hygiène bucco-dentaire.

Une autre étude⁸³, réalisée par le même groupe de travail, a testé l'effet des corticotomies avec ou sans greffe osseuse sur le temps de traitement, la densité osseuse et la résorption radiculaire. Les résultats ne montraient pas de différence sur la durée du traitement entre ces deux techniques (semaines : md = -0.3; IC 95% : -1,0 à 0,4) ni sur le taux de résorption radiculaire, mais une augmentation significativement différente de la densité osseuse lors d'apport osseux 25,85% vs 17,59%.

Une autre étude¹ en cross-over menée par Aboul-Ela et collaborateurs, a montré une augmentation significative de la rétraction canine de 0,73 mm / mois pendant le premier mois.

Cependant, pour des périodes de suivi plus longues, les données indiquent que l'effet de la corticotomie sur l'accélération du déplacement dentaire se dissipe lentement pour atteindre, après quatre mois, la durée standard.

Malgré une étude globalement bien menée, le faible échantillonnage ne nous permet pas d'asseoir nos conclusions.

Un autre essai³⁰ a étudié l'effet de la corticotomie sur le repositionnement des canines incluses en palatin sur l'arcade. Un taux de mouvement plus élevé de 0,30 mm / mois avec la corticotomie par rapport au groupe contrôle a été mesuré du début du traitement jusqu'à la mise en place de la canine sur l'arcade (md = 0,30; IC à 95%: 0,20 à 0,39).

Conclusion :

Les études scientifiques confirment que les corticotomies raccourcissent significativement la durée du traitement orthodontique en accélérant le mouvement dentaire lors des premières phases de nivellement et lors de la rétraction canine.

La lourdeur du geste opératoire fait émerger de nouvelles techniques moins invasives qui s'apparentent aux corticotomies et utilisant le RAP, mais dont le niveau de preuve n'est pas toujours démontré.

2.3.3. Distraction alvéolo-dentaire

Présentation:

Après extraction des premières prémolaires, le chirurgien effectue des perforations de l'os alvéolaire autour des canines avec une fraise ronde à carbure de tungstène. Puis il relie ces perforations grâce à une fraise ficelle. Une distraction chirurgicale manuelle est réalisée grâce à un ostéotome afin de cliver la racine de l'os cortical. Le distracteur est posé et activé immédiatement.



Image 5 : les stries de corticotomie et le distracteur⁵².

Analyse de littérature :

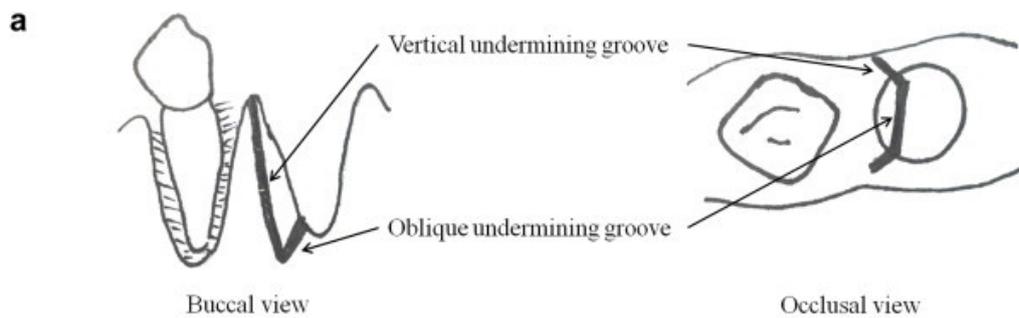
La littérature scientifique ne se compose aujourd'hui que d'études de cas ou de séries de cas dont le niveau de preuve est faible^{48,49,53}.

Selon les auteurs, le concept de distraction osseuse pour accélérer les mouvements dentaires est prometteur et réalisable en pratique clinique. Cependant, l'absence de consensus sur l'intensité des forces appliquées et leur fréquence d'activation, entre autres, n'écarte pas les risques de résorption radiculaire, de nécrose des tissus adjacents, ou de ne pas atteindre les objectifs de traitement (mouvement dentaire en gression par exemple).

2.3.4. Distraction desmondontale

Présentation :

Après extraction des premières prémolaires, le chirurgien effectue des stries verticales sur le versant mésial de l'alvéole, au contact de la canine en vestibulaire et en lingual, suivi d'une légère distraction manuelle. Le principe est similaire à la technique précédente, mais sans distraction complète tout autour de la dent.



b

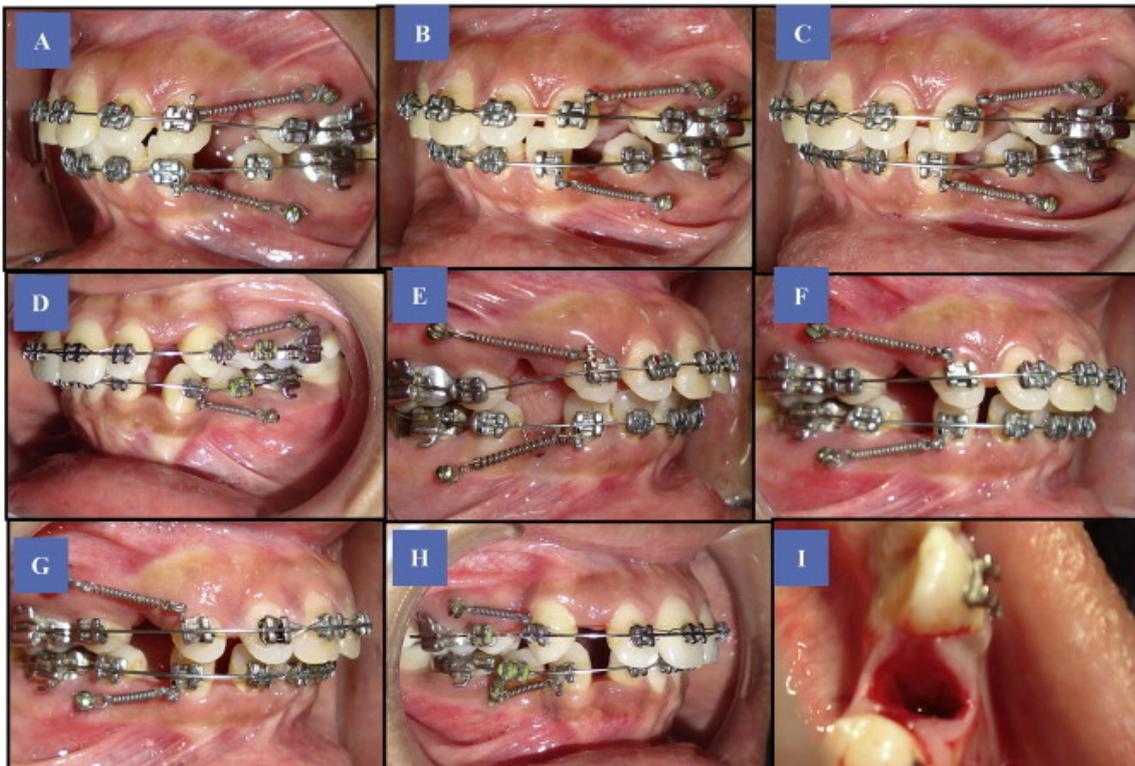


Image 6 : Les lignes d'incisions intra-septales et le traitement orthodontique associé⁴⁴.

Analyse de littérature :

Liou et collaborateur⁵⁶ ont montré que le LAD peut être distracté, à l'image de la suture palatine, lors de l'expansion transversale rapide. Cette étude préliminaire ne renseigne pas sur un gain de temps, mais sur la faisabilité clinique de cette technique, sans complications associées.

Il aura fallu attendre les travaux bien menés de Mowafi et Zaher pour une première évaluation du mouvement dentaire et de sa durée⁶⁷.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la perte d'ancrage en mesurant la distance et le temps de rétraction canine, en évaluant le mouvement parasite de version (tipping), obtenu après la technique de distraction desmodontale et en utilisant des forces intermittentes et continues.

Il s'agit d'une étude en split mouth, randomisée et contrôlée, impliquant 30 patients nécessitant l'extraction des premières prémolaires. Pour chaque patient, un côté attribué au hasard recevait, soit un distracteur sur mini-vis délivrant des forces intermittentes, soit un distracteur utilisant des forces continues.

Les mouvements des molaires et canines ont été mesurés et enregistrés pour être comparés aux données initiales. Les mouvements de versions (tipping) sont évalués au début et à la fin de la distraction grâce à un cliché panoramique.

Les résultats suggèrent, au niveau du dispositif à mini-vis, que les molaires ont bougé mésialement de $2,5 \pm 0,9$ mm. Les canines se sont tippées de $10,5^\circ \pm 3,1^\circ$. La durée moyenne de traitement pour rétracter la canine était de $5,3 \pm 1,3$ semaines.

Au niveau du dispositif à force continue, les mouvements de la molaire n'étaient statistiquement pas différents de ceux de l'autre groupe ($2,8 \pm 1,5$ mm). Les canines se sont déplacées avec un tip de $0,27^\circ \pm 1,75^\circ$, mais sur une période de $27,8 \pm 6,6$ semaines.

Conclusion pour cette étude :

On constate bien une perte d'ancrage avec l'emploi de la distraction dentaire utilisant des forces intermittentes ou continues, mais sans différence significative entre les deux types de forces utilisées.

Dans cette étude, l'intervention chirurgicale n'a pas raccourci le temps de rétraction canine lors de l'utilisation de forces continues.

Les forces continues entraînent un mouvement lent, mais en gression de la canine, tandis que les forces discontinues entraînent un mouvement rapide de tipping.

D'autres études^{34,52,79} ont été réalisées, mais de niveau de preuve insuffisant.

2.3.5. MTDLD : Monocortical Tooth Dislocation and Ligament Distraction

Présentation :

La procédure consiste à réaliser une microcorticomie chirurgicale autour de chaque dent à l'aide d'un piézetome, ainsi qu'une dislocation de la corticale externe et une distraction du LAD. L'application de forces biomécaniques fortes doit être immédiate pour permettre la distraction ligamentaire. Les auteurs préconisent d'adapter les types de stries de corticotomie en fonction de la morphologie radiculaire et du type de mouvement désiré. Ainsi pour un mouvement d'ingression les stries apicales seront plus importantes, si l'on souhaite une rétraction du bloc incisif les stries seront réalisées sur les faces palatines.

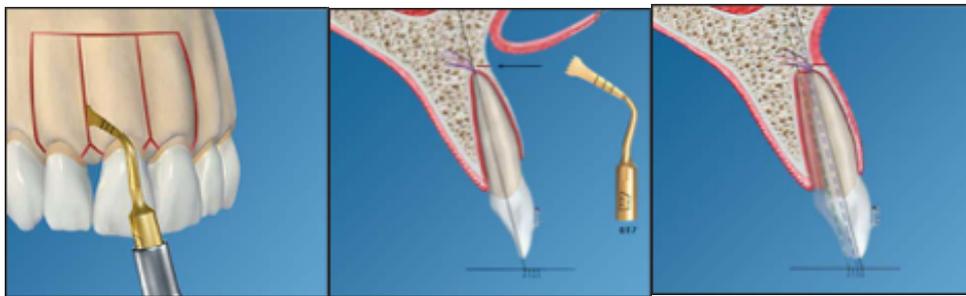


Fig. 10⁹⁵ : **a** : Stries de microcorticotomie autour de chaque racine dentaire
b : Corticotomie horizontale péri-apicale
c : Dislocation corticale et distraction ligamentaire

Analyse de littérature :

Long et al⁶⁰, en 2013, ont conclu, après analyse de différentes études, que la distraction desmodontale et la distraction alvéolo-dentaire étaient deux techniques prometteuses afin d'accélérer les mouvements dentaires. Mais trop peu de preuves scientifiques sont réunies à ce jour pour valider les résultats.

En combinant ces deux techniques, Vercelotti et Podesta ont présenté la MTDLD. Selon ces deux auteurs, elle bénéficie des avantages de chacune des techniques en se passant de leurs inconvénients. Les forces biomécaniques dites lourdes sont permises en combinant (lorsque c'est possible) un traitement vestibulaire classique avec des arcs rectangulaires en NiTi et un traitement lingual composé d'arcs en alliage titane-molybdène (SDS Ormco) (0,32 inch ; 0,17- 0,25 inch ; 0,32- 0,32 inch).

Conclusion :

Il ne s'agit que de séries de cas, qui ne présentent qu'un niveau de preuve faible. La mise en place d'un double arc vestibulaire et palatin semble compliquer le contrôle des mécaniques orthodontiques cela explique peut-être l'utilisation d'un collage indirect par le Ray Set machine (Biaggini Medical Devices). De plus, l'utilisation des forces dites lourdes avec ce genre de technique n'a pas été scientifiquement prouvée.

L'adaptation de la technique chirurgicale aux mouvements dentaires et aux particularités anatomiques semble intéressante pour individualiser et améliorer l'efficacité de la thérapeutique orthodontique.

2.3.6. Alveocentesis : micro-ostéo-perforations

Présentation :

Il s'agit de micro-ostéo-perforations alvéolaires permettant d'augmenter le phénomène de remodelage osseux. C'est le laboratoire Propel qui utilise ce procédé pour commercialiser l'Excellerator®.



Fig. 11 : les sites de perforation micro-invasifs, vidéo de démonstration de Propel Orthodontics

Analyse de littérature :

Alikhani et collaborateurs³ ont étudié l'effet des micro-ostéo-perforations sur la vitesse de déplacement dentaire et l'expression de marqueurs inflammatoires.

Vingt adultes présentant une Classe II Division 1 ont été divisés en groupes témoin et expérimental. Le groupe témoin n'a pas reçu de micro-ostéo-perforations, et le groupe expérimental a reçu des micro-ostéo-perforations sur un côté du maxillaire. Les deux canines maxillaires ont été distalées, et le mouvement a été mesuré après 28 jours. L'activité des marqueurs de l'inflammation a été mesurée dans le fluide gingival sulculaire. La douleur et l'inconfort ont été suivis grâce à une échelle numérique.

Les résultats confirment que les micro-ostéo-perforations augmentent de manière significative la vitesse de déplacement de la dent de 2,3 fois ; ceci a été accompagné d'une augmentation significative des niveaux des marqueurs de l'inflammation. Les patients ne signalent pas de douleur ou d'inconfort important pendant ou après la procédure, ni d'autres complications.

On peut conclure que la micro-ostéo-perforation est une procédure efficace, confortable et sûre pour accélérer le mouvement dentaire dans le premier mois.

Il serait intéressant de poursuivre les études sur plusieurs mois et d'incorporer les phases de nivellement dentaire afin de parvenir à de nouvelles conclusions.

2.3.7. Corticision

Présentation :

Il s'agit d'une intervention chirurgicale de distraction alvéolaire, permise grâce à un scalpel renforcé utilisé comme burin pour séparer les faces corticales inter-proximales en s'affranchissant de l'élévation d'un lambeau muco-périosté⁴⁷.



Image 7 : corticision, Dr Young-Guk Park

Analyse de littérature :

La littérature récente n'est composée que de quelques essais cliniques sur modèles animaux montrant les effets de la corticision sur les différents tissus para-dentaires⁶⁸, le risque de résorption radiculaire⁶⁹ ainsi que l'efficacité du mouvement dentaire lors de la distalisation des canines maxillaires⁴⁶.

Le docteur Young-Guk Park a illustré quelques séries de cas, mais sans grand intérêt scientifique.

Conclusion :

Cette technique chirurgicale utilisant le principe du RAP semble très peu employée à ce jour. En effet, elle ne bénéficie pas encore d'études scientifiques soutenant son efficacité. Cependant, la technique profite d'un geste chirurgical aisé et rapide ce qui laisse entrevoir de faibles suites opératoires ainsi qu'un plateau technique restreint, rendant la manœuvre plus abordable.

2.3.8. Piézocision

Présentation :

Pour surmonter les inconvénients des corticotomies classiques, Dibart et collaborateurs ont introduit une technique chirurgicale à minima, combinant des micros-incisions piézoélectriques de la corticale avec une sélection précise des tunnellisations, ce qui permet, pour l'os et les tissus mous, une meilleure cicatrisation.

Du fait de leur petite taille, les inserts piézoélectriques permettent des ostéotomies précises avec peu de risque de nécrose^{25,95}. Les auteurs se sont affranchis du traitement des faces linguales ainsi que de l'élévation d'un lambeau muco-périosté en vestibulaire réduisant ainsi le temps opératoire et les inconforts postopératoires.



Image 8¹⁶ : les stries verticales de piézocision réalisées de canine à canine

Analyse de littérature :

Là encore la littérature^{25,43,80}, ne permet pas de conclure sur l'effet bénéfique de la piézocision en tant qu'accélérateur de mouvement dentaire. Il faudra attendre cette publication : « Efficiency of Piezotome-Corticision Assisted Orthodontics », qui paraîtra prochainement, pour réévaluer l'efficacité de cette thérapeutique.

Cette technique n'est pas forcément moins douloureuse. En effet, une étude menée par Cassetta et collaborateurs, a testé le temps nécessaire après la chirurgie pour retrouver une santé et un confort bucco-dentaire au bout de 3 et 7 jours en comparaison à une corticotomie utilisant des fraises rondes et à une chirurgie piézoélectrique réalisée en mésial et distal le long de chaque racine d'une arcade¹⁸. La santé et le confort bucco-dentaires ont été affectés négativement dans les trois premiers jours par les deux méthodes et, en dépit de l'amélioration après une semaine, les niveaux de base (niveaux initiaux) n'ont pas été atteints. Une faible différence en faveur des corticotomies a été constatée, mais au vu du nombre de biais, on ne peut affirmer ces résultats.

2.3.9. Chirurgie orthognatique de première intention : « surgery first »

Présentation :

Comme son nom l'indique, le geste chirurgical est réalisé d'emblée, sans préparation orthodontique. La chirurgie sans préparation orthodontique, initialement pensée dans les années 1990, a été proposée par Nagasaka et collaborateurs⁷⁰. Les auteurs ont utilisé cette approche pour corriger les classes III. Le temps de traitement total a été sensiblement réduit. En outre, l'aggravation du profil préopératoire dû à la décompensation des incisives a été évitée et l'amélioration immédiate du profil après la chirurgie a été grandement appréciée par le patient.

Analyse de littérature :

Selon Liou et collaborateurs⁵⁷, les avantages de cette approche sont les suivants:

- le motif de consultation (fonction dentaire et esthétique) est amélioré dès le début du traitement ;
- la durée du traitement est réduite à 1-1,5 ans ou moins en fonction de la complexité du traitement orthodontique, lié notamment au RAP ;
- la réduction de la durée et de la difficulté du traitement orthodontique pré-chirurgical.

Liou et collaborateurs⁵⁸ ont mené une étude où vingt-deux patients adultes, ont reçu une ostéotomie de Lefort I du maxillaire et une chirurgie bilatérale sagittale de la mandibule. Ils ont mesuré, au niveau du fluide gingival, le taux de phosphatase alcalines sériques et de télopeptide-C-terminal du collagène de type I, ainsi que la mobilité des incisives maxillaires et mandibulaires chez ces patients. Les résultats soutiennent l'hypothèse que le phénomène de RAP est dû à l'augmentation de l'activité des ostéoclastes et à des changements métaboliques au niveau dento-alvéolaire provoqués par la chirurgie orthognathique.

Les études concernant la chirurgie sont essentiellement des rapports de cas et des séries de cas (niveau de preuve de grade C).

Uribe et collaborateurs ont décrit le cas d'une jeune patiente de 16 ans avec un profil concave et une malocclusion de classe III, qui a bénéficié d'une chirurgie maxillaire de Lefort 1 d'avancement. Son traitement orthodontico-chirurgical a duré huit mois. Cela a été suivi par un certain nombre de rapports de cas réussis, montrant des Classes II et III traitées rapidement sans préparation orthodontique pré-chirurgicale : Sugawara et collaborateurs⁹², Yu et collaborateurs¹⁰⁵, Villegas et collaborateurs⁹⁶ (classe III asymétrique), Baek et collaborateurs⁸ et Oh et collaborateurs⁷³.

Hernández-Alfaro et collaborateurs³⁵ ont rapporté deux cas traités avec succès par chirurgie bi-maxillaire d'emblée. Chez le patient 1, le traitement orthodontique total a duré 250 jours. Pour le patient 2, le traitement orthodontique total a duré 185 jours. Les objectifs de traitement ont été atteints : une occlusion de classe I adéquate et un profil esthétiquement équilibré.

En 2013, Hernández-Alfaro et collaborateurs³⁶ ont rapporté le traitement de quarante-cinq patients bénéficiant de ce type d'intervention. Des corticotomies ont été effectuées pour amplifier le phénomène d'accélération régionale. La mise en place de mini-vis a permis la stabilisation et la cicatrisation squelettique postopératoire. Le traitement orthodontique a commencé deux semaines après la chirurgie. La durée moyenne du traitement orthodontique était de 37,8 semaines (de 24 à 52 semaines). Une moyenne de vingt-deux rendez-vous d'orthodontie a eu lieu. Les auteurs ont conclu que la « surgery first », couplée aux corticotomies, raccourcit le temps de traitement total. Néanmoins, la sélection soigneuse des patients, la planification du temps de traitement précis et la relation étroite entre chirurgien et orthodontiste sont obligatoires.

Choi et collaborateurs¹⁹, en 2013, ont réalisé une étude prospective afin de déterminer les résultats d'intervention chez 24 patients standards (chirurgie classique avec traitement ortho pré et post-chirurgical) et chez 32 patients opérés par chirurgie orthognatique d'emblée et présentant une dysmorphose dentaire et squelettique de Classe III. Un modèle dentaire a été créé simulant un traitement orthodontique pré-chirurgical standard permettant de déterminer l'occlusion finale entre le maxillaire et la mandibule. Des mesures céphalométriques ont été comparées, entre la norme (chirurgie classique) et le groupe de chirurgie d'emblée, en préopératoire, postopératoire immédiat et postopératoire tardif. Les chercheurs ont constaté que l'approche de la chirurgie d'emblée sans traitement orthodontique préopératoire est possible et peut donner des résultats similaires à la chirurgie orthognathique standard.

Conclusion :

La chirurgie orthognatique en première intention est une technique très prometteuse et appréciée par les patients grâce à ses délais de traitement courts. Il est prouvé scientifiquement que la durée du traitement des classes III est diminuée par rapport aux techniques ortodontico-chirurgicales classiques. Cependant, sa généralisation à toutes les malocclusions nécessitant un acte chirurgical n'est pour le moment pas permise. Il faudra attendre des publications sérieuses pour une pratique plus globale.

3. OPTIMISER LE MOUVEMENT DENTAIRE

3.1. Introduction

Optimiser est le fait de rendre optimal, de donner à quelque chose les meilleures conditions d'utilisation, de fonctionnement, de rendement. Ce terme au sens large intervient dans beaucoup de domaines, tels que l'économie, l'architecture ou les mathématiques. De ce fait, il est louable de penser qu'optimiser nos thérapeutiques favoriserait le mouvement dentaire. Trois grands systèmes sont étudiés dans cette thèse : les systèmes de moindre friction, les ancrages osseux et l'individualisation par outil informatique.

3.2. Les systèmes de moindres frictions

Présentation : par définition, la friction ou résistance au glissement est l'opposition au mouvement quand un objet se déplace tangentiellement par rapport à un autre (Benançon, 1985). En orthodontie, la résistance au glissement peut être définie comme étant l'opposition au mouvement rencontré par le bracket dans sa tentative de déplacement sur l'arc ou vice-versa.

Les facteurs influençant la friction :

- Le bracket : sa composition, sa largeur, l'état de surface de la gorge, la distance inter bracket ;
- L'arc : sa section, sa forme, sa composition, sa rigidité, son état de surface, le torque de l'arc à l'interface avec le bracket ;
- Le type de ligature : élastomérique, acier, auto-ligaturant, la force de ligature.

On peut penser qu'un système à moindre friction améliorerait le mouvement dentaire orthodontique en diminuant les forces en présence et, dans une autre mesure, accélérerait la cinétique du mouvement dentaire et, a fortiori, réduirait la durée globale du traitement.

Analyse de littérature :

Les brackets auto-ligaturants sont largement considérés comme étant plus efficaces dans la pratique clinique et impliquant moins de friction et de force. Ainsi, l'objectif de cette enquête³⁷ in vitro, menée par Holtmann et collaborateurs, était d'évaluer expérimentalement l'efficacité de différentes combinaisons boîtier/ligature/arc et des niveaux de force exercés dans la direction bidimensionnelle pendant la correction d'un alignement dentaire. Un aspect important de cet objectif était de déterminer si les comportements des systèmes de boîtiers classiques avec une ligature élastique ou en acier différaient de celles des supports auto-ligaturants.

Ont été analysés, pour les boîtiers classiques : Mini Taurus® de RMO ; Synergy® de RMO ; Victory Series™ de 3M Unitek ; pour les boîtiers auto-ligaturants : Speed™ de Strite ; Smart Clip™ de 3M Unitek ; Time 3 d'American Orthodontics.

Tous les boîtiers avaient un slot de 0,018 pouce et, sauf pour les auto-ligaturants, ils ont été testés avec à la fois une ligature en acier (0,25 mm ; Remanium, Dentaaurum) et une ligature élastique en caoutchouc (1,3 mm de diamètre ; Dentalastics, Dentaaurum). Ils étaient équipés de quatre fils ronds différents : un en acier inoxydable de 0,30 mm (3M Unitek), un de 0,38 mm coaxial en acier inoxydable (Advanced Orthodontics), un de 0,30 mm Malloy Thermidor NiTi (RMO), et un de 0,30 mm Orthonol NiTi (RMO). Le système de mesure et de simulation orthodontique (OMSS) a été utilisé pour simuler une à deux dimensions (2 mm d'infraclusion et 2 mm de déplacement vestibulaire de la dent).

Les résultats montrent un taux de correction de l'alignement dentaire de 78 à 99% pour les boîtiers classiques avec ligatures en acier ainsi que pour les boîtiers auto-ligaturants. Cependant, les ligatures élastomériques présentaient une correction de l'alignement de l'ordre de 20 à 40%.

Conclusion : in vitro, l'enquête démontre que les deux supports en acier ligaturé classique et les supports auto-ligaturants, qui sont mis en évidence dans la littérature comme des systèmes hautement efficaces, aboutissent à des résultats équivalents dans le traitement de l'encombrement dentaire. Pour ce qui est de ligatures élastomériques, il existe des systèmes à basse friction qui donnent des résultats significativement supérieurs aux ligatures élastomériques classiques pour une correction de nivellement supérieur ou égale à 3mm^{5,7}. (Arun et Baccetti).

Une étude²⁸ similaire menée par l'équipe de Fansa, a cherché à déterminer si le nivellement dentaire est influencé par les différents systèmes de bracket ou par le procédé de ligature. La situation de référence pour cet examen était une dent mal alignée complexe : 2 mm d'infraclusion et 2 mm de palato-version.

En utilisant le système de mesure et de simulation orthodontique (OMSS), les auteurs ont testé l'efficacité de nivellement de neuf systèmes de supports auto-ligaturants fournis par divers fabricants : Forestadent-Quick®, dans des variantes actives et passives ; Dentsply GAC In-Ovation® ; Adenta TIME® ; Ormco Damon® 2 et Damon® 3MX ; UP-dentaire Opal-MTM ; OpalTM-2, Strite SPEEDTM ; qui présentent tous une gorge de 0,022 pouces. Un système de support conventionnel (Dentaurum de Discovery®) a été utilisé à titre de référence. Ils ont utilisé un arc acier multibrin (Ormco TripleflexTM, 0,44 mm, rond) et quatre arcs nickel-titane de différents diamètres (Forestadent® BioStarter® 0,30 mm, rond ; BioStarter® 0,40 mm, rond ; Titanol® Low Force 0,40×0,40 mm² ; Titanol® Low Force 0,40×0,56 mm²). Le système OMSS a permis d'analyser les forces et les mouvements de couple utilisés lors de la phase de nivellement.

Le test des dix systèmes ne révèle aucune différence significative en terme d'efficacité de nivellement. Les deux supports de brackets auto-ligaturants et les supports classiques se sont comportés de manière similaire, et une correction d'environ 80% des infraclusions a été observée. Le déplacement vestibulaire a été corrigé de près de 100% avec tous les systèmes de support, voire plus en raison d'un mouvement de torque. L'influence du type d'arc (matériau et diamètre) est nettement supérieure à celle de la méthode de ligature.

Conclusion : les résultats de cette étude démontrent que le type de ligature, auto ou acier, a une influence négligeable sur l'efficacité de nivellement.

Bien que les supports auto-ligaturants soient plus faciles à manipuler pour l'orthodontiste et présentent des avantages esthétiques par leur petite taille, ils ne sont pas supérieurs aux brackets classiques en matière de compétences biomécaniques. En effet, une étude systématique de 2009 menée par Ehsani et collaborateurs, concluait que les preuves scientifiques n'étaient pas suffisantes pour prouver que, lors d'une malocclusion complexe, les systèmes auto-ligaturants produisaient moins de friction que les systèmes classiques²⁶.

O'Dywer et collaborateurs⁷² ont comparé l'efficacité de traitement entre un système auto-ligaturant et un système conventionnel. Il s'agit d'une étude prospective multicentrique randomisée menée dans trois départements hospitaliers orthodontiques. Les sujets ont été répartis au hasard et ont reçu soit le système auto-ligaturant (3M SmartClip) soit le système classique (3M Victory). Un protocole normalisé a été établi entre les deux opérateurs concernant la procédure de ligature et les séquences d'arcs. L'efficacité de chaque système de ligature a été évaluée en comparant la durée de traitement (mois), le nombre total de consultations (rendez-vous réguliers et visites d'urgence), et le nombre de défaillances des brackets (décollements). Les résultats montraient que 138 sujets (âge moyen 14 ans 11 mois) ont été inclus dans l'étude, dont 135 sujets (97,8%) ayant terminé le traitement. Le temps de traitement moyen était de 25,12 mois et le nombre de visites était de 19,97 dans le groupe auto-ligaturant et 25,80 mois et 20,37 visites dans le groupe traitement conventionnel. Le taux d'échec global était de 6,6% pour le groupe SmartClip et de 7,2% pour le groupe Victory, avec une distribution de décollement similaire entre les deux systèmes. Les résultats n'ont montré aucune différence significative entre les différents systèmes de support.

Conclusion : il n'y a pas de différence significative sur le plan clinique concernant l'efficacité de traitement entre les traitements avec un système de support à ligature automatique et un système de ligature classique.

Une RCT menée par l'équipe du Dr Wong¹⁰⁰, a étudié l'effet de la combinaison boîtiers/ligatures sur le taux de fermeture de l'espace orthodontique constitué suite à l'extraction des premières prémolaires, sur plus de trois mois. Quarante-cinq patients nécessitant une extraction des premières prémolaires ont été inclus (de façon aléatoire) dans trois groupes parallèles : (1) boîtiers pré-informés Edgwise classiques et ligatures élastomériques ; (2) boîtiers Edgwise avec crochet Edgwise associé et ligatures élastomériques Super SlickH à faible friction ; (3) boîtiers auto-ligaturant passifs Damon 3MXH.

La fermeture de l'espace a été entreprise sur des arcs en acier inoxydable 0,0196x0,025 pouce avec des ressorts hélicoïdaux en nickel-titane. Les participants ont été vus toutes les quatre semaines avec, à chaque fois, une empreinte alginate du maxillaire. Le critère de jugement principal était le taux moyen de fermeture de l'espace dans un délai de trois mois.

Les résultats montraient que le taux de fermeture de l'espace était très similaire entre les trois groupes (1 mm tous les 28 jours). Cependant, une grande variation du taux de fermeture de l'espace entre les individus a été constatée. Les différences concernant l'importance de la fermeture de l'espace après plus de trois mois entre les trois groupes étaient très faibles et non significatives ($p=50,718$).

Conclusion : l'hypothèse formulée concernant la réduction du frottement par la modification de l'interface bracket/arc et entraînant une augmentation du taux de fermeture de l'espace n'a pas été confirmée.

Barlow et Kula⁹ ont procédé à une revue de littérature jusqu'en 2006 dont le but était de déterminer quels étaient les facteurs influençant le taux de fermeture des espaces. Il semblerait que les ressorts en NiTi hélicoïdaux soient mieux indiqués, car produisant une force continue, mais le taux de fermeture reste similaire avec l'emploi de chaînettes élastomériques. Le principal déterminant de mouvement orthodontique pourrait donc être la réponse individuelle du patient.

Conclusion :

Les études in vitro montrent que l'efficacité de la correction de malpositions complexes ou simples par des systèmes auto-ligaturants et ligaturants acier sont similaires. En terme d'efficacité, les études cliniques in vivo de bons niveaux de preuves ne concluent pas à un gain de temps entre ces différents systèmes^{64,72}. Il est également important de mettre en relation les systèmes de moindre friction avec la notion de force orthodontique optimale. Il n'y a pas aujourd'hui de consensus sur ce sujet, mais les forces légères et continues semblent les plus physiologiques, cependant, une efficacité supérieure n'a pas été prouvée. Ainsi, la diminution de la friction ne serait pas l'élément majeur nécessaire pour diminuer la durée globale d'un traitement. Nonobstant, pour optimiser l'alignement dentaire avec des boîtiers classiques il serait préférable d'opter pour des ligatures acier²⁸.

Certains auteurs tel que Burrow pensent que le mouvement dentaire serait plus influencé par le type d'arc ou la réponse individuelle que par le boîtier et le système de ligature associé¹⁷. Jian et collaborateurs³⁹ ont étudié dans une méta-analyse l'influence du premier arc dans le nivellement dentaire. L'étude montrait qu'il n'y avait pas d'arc meilleur qu'un autre pour cette phase de traitement, cependant au vu du nombre important de biais, on ne peut pas écarter l'hypothèse d'un type d'arc plus efficient. Des essais cliniques randomisés de bons niveaux de preuves sont donc attendus.

3.3. Les ancrages osseux

Présentation :

Les ancrages osseux absolus et temporaires sont de plus en plus utilisés dans la pratique clinique. Leur facilité de mise en place, si l'indication est bien posée, en fait un outil thérapeutique très précieux dans les cas complexes. Leur atout principal étant le renfort d'ancrage, ils permettent de mieux contrôler les mouvements dentaires, notamment en diminuant les effets parasites. L'hypothèse d'optimisation du mouvement dentaire peut alors être suggérée.

Analyse de littérature :

Dans une étude, Sharma et collaborateurs⁸² ont voulu comparer la perte d'ancrage par mésialisation parasite des molaires maxillaires lors de la rétraction des canines maxillaires après extractions des premières prémolaires en utilisant deux types de renfort d'ancrage : soit un arc trans-palatin soit une mini-vis.

Trente patients ont été inclus, le premier groupe recevait un ancrage osseux, le deuxième recevait un arc trans-palatin. Les mesures ont été effectuées sur une téléradiographie de profil en début et fin de traitement. Les résultats ont montré que, dans le premier groupe, la mésialisation moyenne des premières molaires était de 0,0 mm (SD 0,02 ; P = 0,90), alors que dans le deuxième groupe, il y avait un mouvement vers l'avant des premières molaires de 2,48 mm (SD 0,71 ; P <0,001) en moyenne.

Dans cet essai, les implants mini-vis placés avant le nivellement et l'alignement étaient en mesure de fournir un ancrage absolu lors de la rétraction canine maxillaire, contrairement à un arc trans-palatin. Toutefois, l'arc trans-palatin n'est pas l'auxiliaire d'ancrage de référence. En effet, quelques publications ont montré les limites de ce dispositif⁵⁰.

Borsos et collaborateurs¹⁵ ont également travaillé sur ce sujet, en comparant la perte d'ancrage lors de la rétraction canine et incisive chez trente patients, après extraction de prémolaires, entre un implant palatin et un arc trans-palatin avec un UA construit en ancrage maximal. Les résultats ont montré que les deux techniques étaient satisfaisantes au vu des objectifs cliniques et radiologiques. Ils n'ont pas montré de raccourcissement significatif du temps de traitement global entre les deux groupes.

Une autre RCT de grade B, mené par Al-Sibaie et collaborateurs⁸⁶, a comparé les résultats de traitement entre la rétraction en masse des dents antérieures supérieures prises en charge par les mini-implants et la rétraction en deux étapes (canines puis incisives supérieures) en utilisant des dispositifs d'ancrage conventionnels.

Quatre-vingts patients ont été inclus dont 56 ont été analysés (âge moyen : $22,34 \pm 4,56$ années). Ils ont été répartis au hasard en deux groupes de 28 patients. Le principal critère de jugement était : les déplacements antéro-postérieurs des bords incisifs supérieurs et des premières molaires supérieures, mesurés par céphalométrie sur une téléradiographie de profil.

Les résultats montraient une rétraction en gression ($-4,42$ mm ; $P < 0,001$) avec une légère intrusion ($-1,53$ mm ; $P < 0,001$) des dents antérieures supérieures dans le groupe mini-implants, alors que dans l'autre groupe, la rétraction s'est faite par un mouvement de palato-version. La durée du traitement était raccourcie pour le groupe rétraction en masse, mais cette diminution n'était pas statistiquement significative.

Les auteurs concluent que la rétraction en masse des dents antérieures sur mini-implants semble donner des résultats plus satisfaisants en terme d'ancrage et de mouvement dentaire. La diminution du temps de traitement n'a cependant pas encore été démontrée scientifiquement.

Une autre étude⁹⁴ comparative randomisée a été menée par Upadhyay et collaborateurs afin de déterminer l'efficacité des mini-vis comme unités d'ancrage intra-orales pour la rétraction en masse des six dents antérieures lorsque les premières prémolaires sont extraites par rapport aux méthodes conventionnelles de renfort d'ancrage (force extra-orale, arc transpalatin, arc de Nance, bloc d'ancrage dentaire). Trente patients nécessitant un ancrage maximal après l'extraction des premières prémolaires maxillaires ont été sélectionnés pour cette étude. Ils ont été divisés en deux groupes de quinze patients. Dans le premier groupe (G1), des mini-vis ont été utilisées pour la rétraction en masse. Dans le second groupe (G2), les méthodes classiques d'ancrage de conservation ont été respectées. Les positions horizontales, verticales et angulaires de la première molaire supérieure et de l'incisive centrale ont été évaluées avant et après la rétraction orthodontique par céphalométrie. Les premières molaires maxillaires chez les patients G1 ont montré un mouvement distal de 0,55 mm. Un mouvement mésial de 1,95 mm a été retrouvé dans le groupe G2. Les différences étaient statistiquement significatives. Une version distale de la première molaire de $\pm 3,63^\circ$ a été constatée dans le groupe G1 et un basculement mésial de $3,7^\circ \pm 3,9^\circ$ a été observé dans le groupe G2. Aucune différence significative n'a été observée dans les taux de rétraction incisive entre les deux groupes. Cependant, on a retrouvé dans le groupe G1 plus de 2 mm d'intrusion incisive, ce qui était statistiquement significatif.

Les mini-vis d'ancrage limitent de façon significative la perte d'ancrage par rapport aux thérapeutiques conventionnelles, mais elles n'accélèrent pas la rétraction incisive.

De Clerck et collaborateurs²⁰ ont publié une étude concernant le redressement des molaires mandibulaires en se servant du système Bollard. Le remplacement prothétique de la première molaire peut être compliqué par la mésialisation de la seconde molaire diminuant ainsi l'espace disponible. Il est donc nécessaire de recréer de l'espace, d'où l'intérêt du traitement orthodontique pré-prothétique.

Ainsi, 37 systèmes Bollard ont été posés chez 29 patients nécessitant un redressement de la deuxième molaire en vue d'une restauration prothétique de la première molaire.

Dans cette étude, le redressement molaire a pris entre 3 et 6 mois. L'intérêt de la mise en place de ce système est la pose d'un appareillage partiel, sans modifications de l'occlusion, ce qui permet de s'affranchir des phases de nivellement pour se consacrer directement à l'objectif thérapeutique premier. On peut donc penser qu'un tel dispositif, dans ce cas, serait un bénéfice tant sur le confort que sur le temps de traitement, toutefois, des études sur la cinétique et la durée du traitement sont nécessaires pour affirmer cette hypothèse.

De plus, l'ancrage Bollard permet d'utiliser un ressort d'ingression en plus du ressort de repositionnement sur son unité de fixation afin de parfaire les objectifs cliniques.

Conclusion :

Les ancrages osseux par mini-vis ou plaque permettent un ancrage absolu contrairement aux thérapeutiques conventionnelles. La fermeture des espaces d'extraction des premières prémolaires par rétraction massive des incisives et canines n'est pas accélérée par l'utilisation de mini-vis par rapport à une technique conventionnelle en deux temps. La littérature ne permet pas d'affirmer un réel gain de temps, mais plutôt un meilleur contrôle des objectifs thérapeutiques.

3.4. Les systèmes individualisés

Présentation :

Il s'agit de logiciels de planification de traitement permettant de créer une gamme d'appareils orthodontiques individualisés pour le patient. Ces systèmes personnalisés reposent sur les modèles numériques de l'occlusion du patient, qui sont générés à partir d'empreintes précises, de scans ou de CBCT pris avant le traitement. Une configuration virtuelle du résultat souhaité est alors obtenue. Cette configuration est un outil interactif en trois dimensions (3D) de traitement et de planification.

Un des premiers avantages du passage au numérique pour le praticien est de s'affranchir de modèles en plâtre encombrants et coûteux. Cependant, ce passage ne doit pas se faire au détriment de la qualité et de la précision des modèles. C'est pourquoi Quimby et collaborateurs⁷⁸, ont réalisé une étude dont le but était de déterminer l'exactitude (validité), la reproductibilité (fiabilité) et l'efficacité des mesures effectuées sur des modèles informatiques. Une occlusion modèle en plastique dure, Dentofom, a été utilisée comme gold-standard pour évaluer les erreurs systématiques associées à la production soit de plâtre, soit de modèles informatiques. La précision, la reproductibilité et l'efficacité ont été testées en comparant les mesures des modèles informatiques avec les mesures des modèles en plâtre.

- Précision : un examinateur a mesuré 10 modèles fabriqués à partir d'un Dentofom, à deux reprises ;
- Reproductibilité : deux examinateurs ont mesuré 50 modèles fabriqués à partir de patients, à deux reprises ;

- Efficacité : 10 examinateurs ont mesuré 10 modèles fabriqués à partir de patients, à deux reprises.
- La reproductibilité (fiabilité) a été testée en utilisant le coefficient de corrélation entre les différents modèles reproduits.

En conclusion, les mesures effectuées à partir de modèles informatiques semblent être généralement aussi précises et fiables que les mesures effectuées à partir de modèles en plâtre. L'efficacité a été similaire à ceux des modèles en plâtre. Par conséquent, des modèles informatiques semblent être une alternative cliniquement acceptable.

L'utilisation d'un modèle numérique étant fiable, Fabels, Westerlund et collaborateurs^{27,98}, ont dressé un comparatif entre quatre systèmes de logiciels numériques orthodontiques en évaluant les services, les fonctionnalités et la facilité d'utilisation.

L'information concernant le service offert par les entreprises a été obtenue à partir de questionnaires et de sites web. Les caractéristiques de chaque logiciel ont été recueillies en explorant les manuels d'utilisation et les logiciels eux-mêmes. La facilité de prise en main des programmes a été évaluée par des experts en design d'interaction et d'utilisation.

En général, la facilité d'utilisation et la prise en main de ces programmes était faible et doivent encore être développées. Une formation pratique supervisée par des experts de ces programmes est recommandée pour les débutants.

Depuis plusieurs années le collage indirect a montré sa supériorité dans certains domaines notamment dans celui de la précision². L'émergence des supports informatiques ouvre la voie au collage indirect assisté par ordinateur. Israël et collaborateurs³⁸ ont mené une étude afin d'évaluer la différence dans la précision du placement de brackets par collage indirect assisté par ordinateur (logiciel OrthoCAD iQ) et celui d'un laboratoire de collage indirect, en mesurant la qualité de l'alignement dentaire intra-arcade à la fin de la simulation du traitement orthodontique. Quarante-six ensembles de modèles ont été reproduits à partir de la malocclusion initiale et divisés au hasard en deux groupes d'échantillons. La moitié des modèles avait leurs positions de support sélectionnées par OrthoCAD, tandis que les autres ont été complétées par des professeurs et des élèves dans un département universitaire d'orthodontie. Les résultats ne montraient pas de supériorité du collage assisté par ordinateur par rapport au collage indirect traditionnel.

Conclusion :

Les logiciels informatiques toujours plus nombreux semblent devenir un outil indispensable pour l'orthodontiste de demain. Non pas parce que les services proposés soient de meilleure qualité ou d'une plus grande précision, mais parce que leurs champs d'action et leurs capacités évoluent de jour en jour. Les études ont déjà montré l'efficacité, la fiabilité et la précision des mesures effectuées sur un modèle virtuel. Ces qualités ont été utilisées pour la mise en place du collage indirect assisté par ordinateur, mais aussi dans la prédiction et la planification des mouvements orthodontiques, principes essentiels des dispositifs comme Invisalign®, Orthocaps®, Incognito® et autres. Malgré ces progrès, aucune étude ne fait part d'un gain de temps ou d'efficacité des différents traitements orthodontiques.

Il est bon de rappeler que cette évolution s'inscrit également dans le phénomène général de dématérialisation propre au XXI^{ème} siècle.

Cependant, plusieurs difficultés peuvent être rencontrées par le professionnel de santé. Tout d'abord, dans la comparaison des différents services, afin de choisir l'outil le plus adapté à sa pratique. Puis dans l'accès et la prise en main du logiciel qui devraient nécessiter, pour la majorité, une formation pratique supervisée par des experts de ces programmes informatiques.

Le praticien ne doit pas négliger l'importance du diagnostic et de l'examen clinique souvent mis au détriment du traitement de l'image, informatisée, qui tend à standardiser les traitements et la prise en charge thérapeutique. Nous soignons un patient et non une image.

CONCLUSION :

L'accélération des mouvements dentaires suscite un grand intérêt dans la profession. En effet, l'un des objectifs en matière de soins de santé est d'offrir des thérapies efficaces et efficientes. Lorsque l'on parle d'efficacité de traitement, il s'agit d'obtenir le résultat souhaité, tandis que l'efficience correspond au temps et aux ressources nécessaires pour obtenir le résultat escompté.

Bien que nos connaissances sur la physiologie du déplacement dentaire et les mécanismes moléculaires soient de plus en plus fournies et précises, il reste encore beaucoup à éclaircir. Une parfaite maîtrise de ces phénomènes permettrait de préciser la notion de force optimale et de voir émerger l'utilisation générale d'une intervention biologique choisie dans le traitement orthodontique. Néanmoins, ce travail a mis en évidence l'arrivée proche de techniques dites médicamenteuses notamment par voie locale. Des études devront voir le jour pour en standardiser les protocoles : dosage, fréquence, molécule, etc.

Les procédures chirurgicales utilisant le phénomène d'accélération régionale ont démontré leurs capacités d'amélioration de la vitesse de déplacement de la dent sur les phases initiales d'alignement. Des études *in vivo* de bons niveaux de preuves ne montrent pas de gain de temps sur la totalité d'un traitement orthodontique. De plus, ces chirurgies peuvent être lourdes pour le patient, c'est pourquoi de nouvelles interventions moins invasives sont proposés. Des essais cliniques randomisés sont donc attendus. Le concept de chirurgie de première intention pourrait se développer dans la chirurgie orthognatique, essentiellement en raison de la réduction du temps de traitement et la gratification immédiate exprimée par le patient, qui constituent les avantages majeurs de cette technique. Là encore, nous attendons une publication de plus grande ampleur afin d'obtenir une meilleure estimation du temps de traitement orthodontique.

Le constat est similaire pour les techniques utilisant des stimuli physiques, des études de hauts niveaux de preuves sont nécessaires pour affirmer ou infirmer leurs influence sur la cinétique du mouvement dentaire. De plus, le lobbying de fabricants jette la suspicion sur l'interprétation des résultats de certaines études souvent financées par ces laboratoires.

Ce travail a mis en évidence l'importance donnée actuellement au raccourcissement du traitement, du fait de nouvelles techniques et protocoles, sans aucune validation scientifique disponible pour la plupart, ce qui pose problème d'un point de vue éthique.

Le deuxième aspect de ce travail est l'optimisation du mouvement dentaire. Avec l'essor de nouveaux matériaux tel que les alliages super élastiques et à mémoire de forme ou de nouvelles techniques telles que les mini-vis, le praticien s'attache à ce que les résultats du traitement orthodontique respectent les objectifs initialement fixés dans les meilleures conditions de temps et de ressources possibles. Ainsi l'optimisation s'inscrit dans une recherche d'efficience. Cependant, la littérature sur ce sujet ne permet pas, aujourd'hui, de confirmer ou infirmer un gain de temps par accélération du mouvement dentaire.

Cette quête d'efficience doit toujours être une priorité du praticien sans toutefois nuire à la qualité du traitement.

Enfin, nous terminerons notre propos en présentant deux articles ; l'un de Beckwith et collaborateurs¹³ et l'autre de Mavreas et Athanasiou⁶¹, qui se sont attachés à évaluer les facteurs affectant la durée d'un traitement orthodontique dans sa globalité. La première étude se base sur 140 patients soignés par cinq praticiens. La seconde est un travail de recherche, mené de 1990 à 2005, référençant les articles s'intéressant à la durée des traitements.

Les conclusions tirées sont les suivantes :

- Il semble que les traitements avec extraction prennent plus de temps que ceux sans extractions. La durée du traitement semble également être associée au nombre de dents extraites.
- Les rendez-vous manqués, les décollements et autres urgences, une mauvaise hygiène buccale sont autant de facteurs de non-coopération des patients qui contribuent de manière significative à augmenter le temps de traitement.
- Plus la prise en charge des classes II division 1 est précoce plus le traitement est long.
- Les canines maxillaires incluses prolongent le traitement. La gravité de l'inclusion, ainsi que l'âge du patient, peuvent être mises en relation avec la durée du traitement.
- La durée du traitement orthodontico-chirurgical est variable et semble être praticien dépendant. Les praticiens qui entreprennent un grand nombre de cas chirurgicaux semblent les compléter en moins de temps que les autres.
- Divers facteurs tels que la technique employée, la compétence des opérateurs et leur nombre, la sévérité de la malocclusion initiale semblent tous jouer un rôle dans la durée du traitement. Toutefois, la contribution précise de chaque facteur reste inconnue et constitue un domaine qui doit être exploré.
- La littérature contient des informations contradictoires quant à la durée de traitement au sein des systèmes de santé publique.

La durée du traitement orthodontique est une question globale et ne peut être résolue par une simple amélioration du mouvement dentaire.

De nouvelles études de haut niveau de preuve sont donc nécessaires afin de pouvoir apporter des réponses plus précises.

ANNEXES

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
A Preuve scientifique établie	Niveau 1 - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision fondée sur des études bien menées.
B Présomption scientifique	Niveau 2 - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
C Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 - études cas-témoins.
	Niveau 4 - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
<p style="text-align: center;">A</p> <p style="text-align: center;">Preuve scientifique établie</p>	<p>BARLOW M, KULA K. Factors influencing efficiency of sliding mechanics to close extraction space: a systematic review. <i>Orthod Craniofac Res.</i> 2008;11(2):65–73.</p> <p>GKANTIDIS N, MISTAKIDIS I, KOUSKOURA T, ET AL. Effectiveness of non-conventional methods for accelerated orthodontic tooth movement: a systematic review and meta-analysis. <i>J Dent.</i> 2014;42(10):1300–19.</p> <p>LONG H, PYAKUREL U, WANG Y, ET AL. Interventions for accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review. <i>Angle Orthod.</i> 2013;83(1):164–71.</p>
<p style="text-align: center;">B</p> <p style="text-align: center;">Présomption scientifique</p>	<p>AL-SIBAIE S, HAJEER MY. Assessment of changes following en-masse retraction with mini-implants anchorage compared to two-step retraction with conventional anchorage in patients with class II division 1 malocclusion: a randomized controlled trial. <i>Eur J Orthod.</i> 2014;36(3):275–83.</p> <p>ALIKHANI M, RAPTIS M, ZOLDAN B, ET AL. Effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement. <i>Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.</i> 2013;144(5):639–48. PATIL A, KELUSKAR KM, GAITONDE SD. The clinical application of Prostaglandin E1 on orthodontic movement-A clinical trial. <i>J ind Ortho Soc.</i> 2005;38:91–98.</p> <p>CHOI JW, LEE JY, YANG SJ, ET AL. The reliability of a surgery-first orthognathic approach without presurgical orthodontic treatment for skeletal class III dentofacial deformity. <i>Ann Plast Surg.</i> 2015;74(3):333–41.</p> <p>HERNANDEZ-ALFARO F, GUIJARRO-MARTINEZ R, PEIRO-GUIJARRO MA. Surgery first in orthognathic surgery: what have we learned? A comprehensive workflow based on 45 consecutive cases. <i>J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.</i> 2014;72(2):376–90.</p> <p>MAVREAS D, ATHANASIOU AE. Factors affecting the duration of orthodontic treatment: a systematic review. <i>Eur J Orthod.</i> 2008;30(4):386–95.</p> <p>MOWAFY MI, ZAHER AR. Anchorage loss during canine retraction using intermittent versus continuous force distractions; a split mouth randomized clinical trial. <i>Prog Orthod.</i> 2012;13(2):117–25.</p> <p>PAVLIN D, ANTHONY R, RAJ V, ET AL. Cyclic loading (vibration) accelerates tooth movement in orthodontic patients: A double-blind, randomized controlled trial. <i>Semin Orthod [Internet].</i> 2015 [cited 2015]; Available from: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1073874615000365</p> <p>SHARMA M, SHARMA V, KHANNA B. Mini-screw implant or transpalatal arch-mediated anchorage reinforcement during canine retraction: a randomized clinical trial. <i>J Orthod.</i> 2012;39(2):102–10.</p> <p>SHOREIBAH EA, IBRAHIM SA, ATTIA MS, ET AL. Clinical and radiographic evaluation of bone grafting in corticotomy-facilitated orthodontics in adults. <i>J Int Acad Periodontol.</i> 2012;14(4):105–13.</p>

	<p>SHOREIBAH EA, SALAMA AE, ATTIA MS, ET AL. Corticotomy-facilitated orthodontics in adults using a further modified technique. <i>J Int Acad Periodontol.</i> 2012;14(4):97–104.</p> <p>UPADHYAY M, YADAV S, PATIL S. Mini-implant anchorage for en-masse retraction of maxillary anterior teeth: a clinical cephalometric study. <i>Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.</i> 2008;134(6):803–10.</p> <p>WONG H, COLLINS J, TINSLEY D, ET AL. Does the bracket-ligature combination affect the amount of orthodontic space closure over three months? A randomized controlled trial. <i>J Orthod.</i> 2013;40(2):155–62. <i>Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.</i> 2008;134(6):803–10.</p>
--	--

TABLES DES ILLUSTRATIONS :

- Figure 1 : Cycle ARIF (d'après Baron¹⁰).
- Figure 2 : Principales voies de signalisation intracellulaire consécutives à l'application d'une force orthodontique³¹.
- Figure 3 : Mécanismes de différenciation ostéoblastique³¹.
- Figure 4 : Mécanismes et molécules impliqués dans la différenciation ostéoclastique (d'après Lacey⁵⁴).
- Figure 5 : Mécanismes et molécules impliqués dans l'inhibition ostéoclastique (d'après Lacey⁵⁴).
- Figure 6 : Schémas récapitulatifs des mécanismes d'action cellulaire des différentes techniques présentées.
- Figure 7 : Comparaison des longueurs d'onde du soleil (lumière blanche), des LED et des lasers.
- Figure 8 : Comparaison des caractéristiques entre laser et LED
- Figure 9 : Processus de cicatrisation osseuse.
- Figure 10 : **a** : Stries de microcorticotomie autour de chaque racine dentaire.
b : Corticotomie horizontale péri-apicale.
c : Dislocation corticale et distraction ligamentaire.
- Figure 11 : Les sites de perforation micro-invasifs, vidéo de démonstration de Propel Orthodontics

- Image 1 : L'AcceleDent Aura®
- Image 2 : Le dispositif électrique appliqué sur une canine maxillaire gauche.
- Image 3 : Dispositif de photo-biomodulation.
- Image 4 : A : stries de corticotomie et B : comblement osseux.
- Image 5 : Les stries de corticotomie et le distracteur⁵².
- Image 6 : Les lignes d'incisions intra-septales et le traitement orthodontique associé⁴⁴.
- Image 7 : Corticision.
- Image 8 : Les stries verticales de piézocision réalisées de canine à canine.

BIBLIOGRAPHIE :

1. **ABOUL-ELA SMBE-D, EL-BEIALY AR, EL-SAYED KMF, ET AL.** Miniscrew implant-supported maxillary canine retraction with and without corticotomy-facilitated orthodontics. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **2011**;139(2):252–9.
2. **AGUIRRE MJ, KING GJ, WALDRON JM.** Assessment of bracket placement and bond strength when comparing direct bonding to indirect bonding techniques. *Am J Orthod.* **1982**;82(4):269–76.
3. **ALIKHANI M, RAPTIS M, ZOLDAN B, ET AL.** Effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **2013**;144(5):639–48.
4. **ANGLE SR, SENA K, SUMNER DR, ET AL.** Osteogenic differentiation of rat bone marrow stromal cells by various intensities of low-intensity pulsed ultrasound. *Ultrasonics.* **2011**;51(3):281–8.
5. **ARUN AV, VAZ AC.** Frictional characteristics of the newer orthodontic elastomeric ligatures. *Indian J Dent Res.* **2011**;22(1):95–9.
6. **AZEVEDO LH, DE PAULA EDUARDO F, MOREIRA MS, ET AL.** Influence of different power densities of LILT on cultured human fibroblast growth. *Lasers Med Sci.* **2006**;21(2):86–9.
7. **BACCETTI T, FRANCHI L, CAMPORESI M.** Forces in the presence of ceramic versus stainless steel brackets with unconventional vs conventional ligatures. *Angle Orthod.* **2008**;78(1):120–4.
8. **BAEK S-H, AHN H-W, KWON Y-H, ET AL.** Surgery-first approach in skeletal class III malocclusion treated with 2-jaw surgery: evaluation of surgical movement and postoperative orthodontic treatment. *J Craniofac Surg.* **2010**;21(2):332–8.
9. **BARLOW M, KULA K.** Factors influencing efficiency of sliding mechanics to close extraction space: a systematic review. *Orthod Craniofac Res.* **2008**;11(2):65–73.
10. **BARON R.** Changes in alveolar bone during spontaneous and induced tooth movement. *Mondo Ortod.* **1977**;19(1):29–44.
11. **BASSETT CA.** Pulsing electromagnetic fields: a new method to modify cell behavior in calcified and noncalcified tissues. *Calcif Tissue Int.* **1982**;34(1):1–8.
12. **BASSETT CA, BECKER RO.** Generation of electric potentials by bone in response to mechanical stress. *Science.* **1962**;137(3535):1063–4.
13. **BECKWITH FR, ACKERMAN RJ, COBB CM, ET AL.** An evaluation of factors

affecting duration of orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* **1999**;115(4):439–47.

14. **BLANCO J, DIAZ R, GROSS H, ET AL.** Efecto de la administración sistémica del 1,25 Dihidroxicolecalciferol sobre la velocidad del movimiento ortodóncico en humanos. *Estudio Clínico.* **2001**;8:13–21.

15. **BORSOS G, VOKO Z, GREDES T, ET AL.** Tooth movement using palatal implant supported anchorage compared to conventional dental anchorage. *Ann Anat.* **2012**;194(6):556–60.

16. **BRUGNAMI F, CAIAZZO A, DIBART S.** Lingual orthodontics: accelerated realignment of the “social six” with piezocision. *Compend Contin Educ Dent.* **2013**;34(8):608–10.

17. **BURROW SJ.** Friction and resistance to sliding in orthodontics: a critical review. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **2009**;135(4):442–7.

18. **CASSETTA M, DI CARLO S, GIANANTI M, ET AL.** The impact of osteotomy technique for corticotomy-assisted orthodontic treatment (CAOT) on oral health-related quality of life. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* **2012**;16(12):1735–40.

19. **CHOI JW, LEE JY, YANG SJ, ET AL.** The reliability of a surgery-first orthognathic approach without presurgical orthodontic treatment for skeletal class III dentofacial deformity. *Ann Plast Surg.* **2015**;74(3):333–41.

20. **DE CLERCK H, CORNELIS M, TIMMERMAN H.** Dental tours de force 4. The use of a bone anchor for holding upright a tipped molar in the lower jaw. *Ned Tijdschr Tandheelkd.* **2004**;111(1):10–3.

21. **COLLINS MK, SINCLAIR PM.** The local use of vitamin D to increase the rate of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **1988**;94(4):278–84.

22. **DAVIDOVITCH Z, FINKELSON MD, STEIGMAN S, ET AL.** Electric currents, bone remodeling, and orthodontic tooth movement. II. Increase in rate of tooth movement and periodontal cyclic nucleotide levels by combined force and electric current. *Am J Orthod.* **1980**;77(1):33–47.

23. **DAVIDOVITCH Z, FINKELSON MD, STEIGMAN S, ET AL.** Electric currents, bone remodeling, and orthodontic tooth movement. I. The effect of electric currents on periodontal cyclic nucleotides. *Am J Orthod.* **1980**;77(1):14–32.

24. **DAVIES TM, SHAW WC, WORTHINGTON HV, ET AL.** The effect of orthodontic treatment on plaque and gingivitis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **1991**;99(2):155–61.

25. **DIBART S, SEBAOUN JD, SURMENIAN J.** Piezocision: a minimally invasive,

periodontally accelerated orthodontic tooth movement procedure. *Compend Contin Educ Dent Jamesburg NJ* 1995. **2009**;30(6):342–4, 346, 348–50.

26. **EHSANI S, MANDICH M-A, EL-BIALY TH, ET AL.** Frictional resistance in self-ligating orthodontic brackets and conventionally ligated brackets. A systematic review. *Angle Orthod.* **2009**;79(3):592–601.

27. **FABELS LNJ, NIJKAMP PG.** Interexaminer and intraexaminer reliabilities of 3-dimensional orthodontic digital setups. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **2014**;146(6):806–11.

28. **FANSA M, KEILIG L, REIMANN S, ET AL.** The leveling effectiveness of self-ligating and conventional brackets for complex tooth malalignments. *J Orofac Orthop.* **2009**;70(4):285–96.

29. **FINK DF, SMITH RJ.** The duration of orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **1992**;102(1):45–51.

30. **FISCHER TJ.** Orthodontic treatment acceleration with corticotomy-assisted exposure of palatally impacted canines. *Angle Orthod.* **2007**;77(3):417–20.

31. **LE GALL M, SASTRE J.** The fundamentals of tooth movement. *Int Orthod.* **2010**;8(1):1–13.

32. **GKANTIDIS N, MISTAKIDIS I, KOUSKOURA T, ET AL.** Effectiveness of non-conventional methods for accelerated orthodontic tooth movement: a systematic review and meta-analysis. *J Dent.* **2014**;42(10):1300–19.

33. **GUPTA M, KANDULA S, LAXMIKANTH SM, ET AL.** Controlling pain during orthodontic fixed appliance therapy with non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAID): a randomized, double-blinded, placebo-controlled study. *J Orofac Orthop.* **2014**;75(6):471–6.

34. **GÜRGAN CA, ISERI H, KISNISI R.** Alterations in gingival dimensions following rapid canine retraction using dentoalveolar distraction osteogenesis. *Eur J Orthod.* **2005**;27(4):324–32.

35. **HERNANDEZ-ALFARO F, GUIJARRO-MARTINEZ R, MOLINA-CORAL A, ET AL.** “Surgery first” in bimaxillary orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* **2011**;69(6):e201–7.

36. **HERNANDEZ-ALFARO F, GUIJARRO-MARTINEZ R, PEIRO-GUIJARRO MA.** Surgery first in orthognathic surgery: what have we learned? A comprehensive workflow based on 45 consecutive cases. *J Oral Maxillofac Surg.* **2014**;72(2):376–90.

37. **HOLTMANN S, KONERMANN A, KEILIG L, ET AL.** Different bracket-archwire combinations for simulated correction of two-dimensional tooth malalignment: Leveling outcomes and initial force systems. *J Orofac Orthop.* **2014**;75(6):459–70.

38. **ISRAEL M, KUSNOTO B, EVANS CA, ET AL.** A comparison of traditional and computer-aided bracket placement methods. *Angle Orthod.* **2011**;81(5):828–35.
39. **JIAN F, LAI W, FURNESS S, ET AL.** Initial arch wires for tooth alignment during orthodontic treatment with fixed appliances. *Cochrane Database Syst Rev.* **2013**;4:CD007859.
40. **KALE S, KOCADERELI İ, ATILLA P, ET AL.** Comparison of the effects of 1,25 dihydroxycholecalciferol and prostaglandin E2 on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **2004**;125(5):607–14.
41. **KAU CH, KANTARCI A, SHAUGHNESSY T, ET AL.** Photobiomodulation accelerates orthodontic alignment in the early phase of treatment. *Prog Orthod.* **2013**;14:30.
42. **KAWAKAMI M, TAKANO-YAMAMOTO T.** Local injection of 1,25-dihydroxyvitamin D3 enhanced bone formation for tooth stabilization after experimental tooth movement in rats. *J Bone Miner Metab.* **2004**;22(6):541–6.
43. **KESER EI, DIBART S.** Piezocision-assisted Invisalign treatment. *Compend Contin Educ Dent Jamesburg NJ 1995.* **2011**;32(2):46–8, 50–1.
44. **KHANNA R, TIKKU T, SACHAN K, ET AL.** Evaluation of canine retraction following periodontal distraction using NiTi coil spring and implants – A clinical study. *J Oral Biol Craniofacial Res.* **2014**;4(3):192–9.
45. **KIM D-H, PARK Y-G, KANG S-G.** The effects of electrical current from a micro-electrical device on tooth movement. *Korean J Orthod.* **2008**;38(5):337.
46. **KIM S-J, MOON S-U, KANG S-G, ET AL.** Effects of low-level laser therapy after Corticision on tooth movement and paradental remodeling. *Lasers Surg Med.* **2009**;41(7):524–33.
47. **KIM S-J, PARK Y-G, KANG S-G.** Effects of Corticision on paradental remodeling in orthodontic tooth movement. *Angle Orthod.* **2009**;79(2):284–91.
48. **KISNISI RS, ISERI H.** Dentoalveolar transport osteodistraction and canine distalization. *J Oral Maxillofac Surg.* **2011**;69(3):763–70.
49. **KISNISI RS, ISERI H, Tüz HH, ET AL.** Dentoalveolar distraction osteogenesis for rapid orthodontic canine retraction. *J Oral Maxillofac Surg.* **2002**;60(4):389–94.
50. **KOJIMA Y, FUKUI H.** Effects of transpalatal arch on molar movement produced by mesial force: a finite element simulation. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **2008**;134(3):335.e1–7; discussion 335–6.
51. **KRISHNAN V, DAVIDOVITCH Z.** Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* **2006**;129(4):469.e1–32.

52. **KUMAR N, PRASHANTHA G, RAIKAR S, ET AL.** Dento-aveolar distraction osteogenesis for rapid orthodontic canine retraction. *J Int Oral Health JIOH.* **2013**;5(6):31–41.
53. **KURT G, ISERI H, KISNISI R.** Rapid tooth movement and orthodontic treatment using dentoalveolar distraction (DAD). Long-term (5 years) follow-up of a Class II case. *Angle Orthod.* **2010**;80(3):597–606.
54. **LACEY DL, TIMMS E, TAN HL, ET AL.** Osteoprotegerin ligand is a cytokine that regulates osteoclast differentiation and activation. *Cell.* **1998**;93(2):165–76.
55. **LEIKER BJ, NANDA RS, CURRIER GF, ET AL.** The effects of exogenous prostaglandins on orthodontic tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* **1995**;108(4):380–8.
56. **LIU EJ, HUANG CS.** Rapid canine retraction through distraction of the periodontal ligament. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **1998**;114(4):372–82.
57. **LIU EJW, CHEN P-H, WANG Y-C, ET AL.** Surgery-first accelerated orthognathic surgery: orthodontic guidelines and setup for model surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* **2011**;69(3):771–80.
58. **LIU EJW, CHEN P-H, WANG Y-C, ET AL.** Surgery-first accelerated orthognathic surgery: postoperative rapid orthodontic tooth movement. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* **2011**;69(3):781–5.
59. **LIU D.** Histomorphometric study of orthodontic tooth movement under mechanical vibration. **2011**;
60. **LONG H, PYAKUREL U, WANG Y, ET AL.** Interventions for accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod.* **2013**;83(1):164–71.
61. **MAVREAS D, ATHANASIOU AE.** Factors affecting the duration of orthodontic treatment: a systematic review. *Eur J Orthod.* **2008**;30(4):386–95.
62. **MAYLIA E, NOKES LD.** The use of ultrasonics in orthopaedics--a review. *Technol Health Care.* **1999**;7(1):1–28.
63. **MEIKLE MC.** The tissue, cellular, and molecular regulation of orthodontic tooth movement: 100 years after Carl Sandstedt. *Eur J Orthod.* **2006**;28(3):221–40.
64. **MILES PG.** Self-ligating brackets in orthodontics: Do they deliver what they claim? *Aust Dent J.* **2009**;54(1):9–11.
65. **MIYAGAWA A, CHIBA M, HAYASHI H, ET AL.** Compressive force induces VEGF production in periodontal tissues. *J Dent Res.* **2009**;88(8):752–6.
66. **MOSTAFA YA, WEAKS-DYBVIG M, OSDOBY P.** Orchestration of tooth movement. *Am J Orthod.* **1983**;83(3):245–50.

67. **MOWAFY MI, ZAHER AR.** Anchorage loss during canine retraction using intermittent versus continuous force distractions; a split mouth randomized clinical trial. *Prog Orthod.* **2012**;13(2):117–25.
68. **MURPHY CA, CHANDHOKE T, KALAJZIC Z, ET AL.** Effect of corticision and different force magnitudes on orthodontic tooth movement in a rat model. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* **2014**;146(1):55–66.
69. **MURPHY C, KALAJZIC Z, CHANDHOKE T, ET AL.** The effect of corticision on root resorption with heavy and light forces. *Angle Orthod.* **2015**;
70. **NAGASAKA H, SUGAWARA J, KAWAMURA H, ET AL.** “Surgery first” skeletal Class III correction using the Skeletal Anchorage System. *J Clin Orthod JCO.* **2009**;43(2):97–105.
71. **NISHIMURA M, CHIBA M, OHASHI T, ET AL.** Periodontal tissue activation by vibration: Intermittent stimulation by resonance vibration accelerates experimental tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **2008**;133(4):572–83.
72. **O’DYWER L, LITTLEWOOD SJ, RAHMAN S, ET AL.** A multi-center randomized controlled trial to compare a self-ligating bracket with a conventional bracket in a UK population: Part 1: treatment efficiency. *Angle Orthod.* **2015**;
73. **OH J-Y, PARK J-W, BAEK S-H.** Surgery-first approach in class III open-bite. *J Craniofac Surg.* **2012**;23(4):e283–7.
74. **PATIL A, KELUSKAR KM, GAITONDE SD.** The clinical application of Prostaglandin E1 on orthodontic movement-A clinical trial. *J ind Ortho Soc.* 2005;38:91–98.
75. **PAVLIN D, ANTHONY R, RAJ V, ET AL.** Cyclic loading (vibration) accelerates tooth movement in orthodontic patients: A double-blind, randomized controlled trial. *Semin Orthod [Internet].* **2015 [cited 2015]**;. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1073874615000365>
76. **PEPLOW PV, CHUNG T-Y, RYAN B, ET AL.** Laser Photobiomodulation of Gene Expression and Release of Growth Factors and Cytokines from Cells in Culture: A Review of Human and Animal Studies. *Photomed Laser Surg.* **2011**;29(5):285–304.
77. **PEPTAN AI, LOPEZ A, KOPHER RA, ET AL.** Responses of intramembranous bone and sutures upon in vivo cyclic tensile and compressive loading. *Bone.* **2008**;42(2):432–8.
78. **QUIMBY ML, VIG KWL, RASHID RG, ET AL.** The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. *Angle Orthod.* **2004**;74(3):298–303.
79. **SAYIN S, BENGI AO, GÜRTON AU, ET AL.** Rapid canine distalization using

distraction of the periodontal ligament: a preliminary clinical validation of the original technique. *Angle Orthod.* **2004**;74(3):304–15.

80. **SEBAOUN J-DM, SURMENIAN J, DIBART S.** [Accelerated orthodontic treatment with piezocision: a mini-invasive alternative to conventional corticotomies]. *Orthod Fr.* **2011**;82(4):311–9.

81. **SEKHAVAT AR, MOUSAVIZADEH K, PAKSHIR HR, ET AL.** Effect of misoprostol, a prostaglandin E1 analog, on orthodontic tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **2002**;122(5):542–7.

82. **SHARMA M, SHARMA V, KHANNA B.** Mini-screw implant or transpalatal arch-mediated anchorage reinforcement during canine retraction: a randomized clinical trial. *J Orthod.* **2012**;39(2):102–10.

83. **SHOREIBAH EA, IBRAHIM SA, ATTIA MS, ET AL.** Clinical and radiographic evaluation of bone grafting in corticotomy-facilitated orthodontics in adults. *J Int Acad Periodontol.* **2012**;14(4):105–13.

84. **SHOREIBAH EA, SALAMA AE, ATTIA MS, ET AL.** Corticotomy-facilitated orthodontics in adults using a further modified technique. *J Int Acad Periodontol.* **2012**;14(4):97–104.

85. **SHOWKATBAKHSR R, JAMILIAN A, SHOWKATBAKHSR M.** The effect of pulsed electromagnetic fields on the acceleration of tooth movement. *World J Orthod.* **2010**;11(4):e52–6.

86. **AL-SIBAIE S, HAJEER MY.** Assessment of changes following en-masse retraction with mini-implants anchorage compared to two-step retraction with conventional anchorage in patients with class II division 1 malocclusion: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod.* **2014**;36(3):275–83.

87. **SOMA S, IWAMOTO M, HIGUCHI Y, ET AL.** Effects of Continuous Infusion of PTH on Experimental Tooth Movement in Rats. *J Bone Miner Res.* **1999**;14(4):546–54.

88. **SOMA S, MATSUMOTO S, HIGUCHI Y, ET AL.** Local and Chronic Application of PTH Accelerates Tooth Movement in Rats. *J Dent Res.* **2000**;79(9):1717–24.

89. **SPIELMANN T, WIESLANDER L, HEFTI AF.** Acceleration of orthodontically induced tooth movement through the local application of prostaglandin (PGE1). *Schweiz Monatsschri Zahnmed.* **1989**;99(2):162–5.

90. **STRIPPOLI J, AKNIN J-J.** Le concept du déplacement dentaire accéléré par corticotomie ou par piézocision. *Orthod Fr.* **2012**;83(2):10.

91. **SUDA T, UENO Y, FUJII K, ET AL.** Vitamin D and bone. *J Cell Biochem.*

2003;88(2):259–66.

92. **SUGAWARA J, AYMACH Z, NAGASAKA DH, ET AL.** “Surgery first” orthognathics to correct a skeletal class II malocclusion with an impinging bite. *J Clin Orthod JCO*. **2010**;44(7):429–38.
93. **TAKANO-YAMAMOTO T, KAWAKAMI M, YAMASHIRO T.** Effect of Age on the Rate of Tooth Movement in Combination with Local Use of 1,25(OH) 2D3 and Mechanical Force in the Rat. *J Dent Res*. **1992**;71(8):1487–92.
94. **UPADHYAY M, YADAV S, PATIL S.** Mini-implant anchorage for en-masse retraction of maxillary anterior teeth: a clinical cephalometric study. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. **2008**;134(6):803–10.
95. **VERCELLOTTI T, PODESTA A.** Orthodontic microsurgery: a new surgically guided technique for dental movement. *Int J Periodonti Rest Dent*. **2007**;27(4):325–31.
96. **VILLEGAS C, URIBE F, SUGAWARA J, ET AL.** Expedited correction of significant dentofacial asymmetry using a “surgery first” approach. *J Clin Orthod JCO*. **2010**;44(2):97–103; quiz 105.
97. **WALKER JB, BURING SM.** NSAID impairment of orthodontic tooth movement. *Ann Pharmacother*. **2001**;35(1):113–5.
98. **WESTERLUND A, TANCREDI W, RANSJÖ M, ET AL.** Digital casts in orthodontics: a comparison of 4 software systems. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. **2015**;147(4):509–16.
99. **WILCKO WM, WILCKO T, BOUQUOT JE, ET AL.** Rapid orthodontics with alveolar reshaping: two case reports of decrowding. *Int J Periodontics Restorative Dent*. **2001**;21(1):9–19.
100. **WONG H, COLLINS J, TINSLEY D, ET AL.** Does the bracket-ligature combination affect the amount of orthodontic space closure over three months? A randomized controlled trial. *J Orthod*. **2013**;40(2):155–62.
101. **XUE H, ZHENG J, CUI Z, ET AL.** Low-Intensity pulsed ultrasound accelerates tooth movement via activation of the BMP-2 signaling pathway. *PLoS ONE* [Internet]. **2013** [cited 2015];8(7). Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3720872/>
102. **YAMASAKI K.** The role of cyclic AMP, calcium, and prostaglandins in the induction of osteoclastic bone resorption associated with experimental tooth movement. *J Dent Res*. **1983**;62(8):877–81.
103. **YAMASAKI K, SHIBATA Y, IMAI S, ET AL.** Clinical application of prostaglandin E1 (PGE1) upon orthodontic tooth movement. *Am J Orthod*. **1984**;85(6):508–18.

104. **YANG M-H, LIM K-T, CHOUNG P-H, ET AL.** Application of ultrasound stimulation in bone tissue engineering. *Int J Stem Cells*. **2010**;3(2):74–9.
105. **YU C-C, CHEN P-H, LIOU EJW, ET AL.** A Surgery-first approach in surgical-orthodontic treatment of mandibular prognathism--a case report. *Chang Gung Med J*. **2010**;33(6):699–705.

UNIVERSITE DE NANTES
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Vu le Président du Jury,

Pr. B. Giunelli



Vu et permis d'imprimer

Vu le Doyen,

Le Doyen

Pr. Yves AMOURIQ

Y. AMOURIQ

Dr. S. BENAUMIN.



DUCHATEAUX (Alban). Accélérer et optimiser le mouvement dentaire en orthodontie. - 75f. ; ill. ; 105 réf. ; 30 cm. (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2016)

RESUME

La durée moyenne d'un traitement orthodontique est de vingt trois mois. Le praticien doit de ce fait, faire face à une augmentation du risque carieux individuel, une diminution de la compliance et dans quinze pourcent des cas à une rupture du contrat de soins par abandon du traitement.

L'efficacité des traitements par raccourcissement de leur durée est donc un sujet très prisé tant par le praticien que par les patients. Ce travail fait le point sur les différentes techniques chirurgicales et non chirurgicales dont le but est d'accélérer le mouvement dentaire, en analysant la littérature y faisant référence. Une deuxième partie se consacre à l'optimisation du traitement en étudiant les systèmes de moindres frictions, les ancrages osseux et les systèmes individualisés et analyse leurs impacts sur la durée globale du traitement.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Orthopédie dento-faciale

MOTS CLES MESH

orthodontie – orthodontics

temps opératoires – time and motion studies

mouvement dentaire – tooth movement

JURY

Président : Professeur GIUMELLI Bernard

Asseseurs : Docteur NIVET Marc-Henri

Asseseurs : Docteur MAIRE-FROMENT Claire-Hélène

Membre invité : Professeur DUCHATEAUX Claude

Directeur : Docteur RENAUDIN Stéphane

ADRESSE DE L'AUTEUR

1 rue Beauregard, 44000 NANTES

alban.duchateaux@hotmail.fr