



HAL
open science

Le traitement orthodontique : peut-on réellement l'accélérer ?

Caroline Nevesny

► **To cite this version:**

Caroline Nevesny. Le traitement orthodontique : peut-on réellement l'accélérer ?. Chirurgie. 2019. dumas-02294262

HAL Id: dumas-02294262

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02294262>

Submitted on 23 Sep 2019

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

ACADEMIE d'AIX-MARSEILLE

Le traitement orthodontique : peut-on réellement l'accélérer ?

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille
(Doyen : Monsieur le Professeur Jacques Dejou)

Aix Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Yvon Berland)

Le 12 juillet 2019

par

NEVESNY Caroline

née le 23 juin 1991
à MONTPELLIER

Pour obtenir le Diplôme d'État de Docteur en Chirurgie Dentaire

Examineurs de la Thèse :

Président	: Monsieur le Professeur	M. RUQUET
Asseseurs	: <u>Monsieur le Docteur</u>	M. LE GALL
	Madame le Docteur	C. PHILIP-ALLIEZ
	Madame le Docteur	M. BARBERO
	Monsieur le Docteur	R. MATTERA

ACADEMIE d'AIX-MARSEILLE

Le traitement orthodontique : peut-on réellement l'accélérer ?

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille
(Doyen : Monsieur le Professeur Jacques Dejou)

Aix Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Yvon Berland)

Le 12 juillet 2019

par

NEVESNY Caroline

née le 23 juin 1991
à MONTPELLIER

Pour obtenir le Diplôme d'État de Docteur en Chirurgie Dentaire

Examineurs de la Thèse :

Président	: Monsieur le Professeur	M. RUQUET
Asseseurs	: Monsieur le Docteur	<u>M. LE GALL</u>
	Madame le Docteur	C. PHILIP-ALLIEZ
	Madame le Docteur	M. BARBERO
	Monsieur le Docteur	R. MATTERA

ADMINISTRATION

Mise à jour : février 2019

DOYENS HONORAIRES	Professeur	R. SANGIUOLO†
	Professeur	H. ZATTARA
	Professeur	A. SALVADORI
DOYEN	Professeur	J. DEJOU
VICE – DOYEN CHARGE DES ENSEIGNEMENTS DIRECTEUR DU DEPARTEMENT DE FORMATION INITIALE	Professeur	J.D. ORTHLIEB
VICE – DOYEN CHARGE DE LA RECHERCHE DIRECTEUR DU DEPARTEMENT DE LA RECHERCHE	Professeur	C. TARDIEU
DIRECTEUR DU DEPARTEMENT DE FORMATION CONTINUE	Professeur	V. MONNET-CORTI
CHARGES DE MISSION RELATIONS INTERNATIONALES	Professeur	A. RASKIN
RESPONSABLE DES SERVICES ADMINISTRATIFS ET TECHNIQUES	Madame	K. LEONI

LISTE DES ENSEIGNANTS

56^{ème} SECTION : DEVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PREVENTION

56.01 ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE ET ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE

ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE

<i>Professeur</i>	C. TARDIEU *	<i>Assistant</i>	H. AL AZAWI
<i>Maître de Conférences</i>	D. BANDON	<i>Assistant</i>	E. CASAZZA
<i>Maître de Conférences</i>	A. CAMOIN		
<i>Maître de Conférences</i>	A. CHAFAIE		
<i>Maître de Conférences associé</i>	I. BLANCHET		

ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE

<i>Maître de Conférences</i>	M. LE GALL *	<i>Assistant</i>	M. BARBERO
<i>Maître de Conférences</i>	J. BOHAR	<i>Assistant</i>	I. CAMBON
<i>Maître de Conférences</i>	J. GAUBERT	<i>Assistant</i>	D. DORISON-BACHET
<i>Maître de Conférences</i>	C. PHILIP-ALLIEZ	<i>Assistant</i>	L. LEVY
		<i>Assistant</i>	R. MATTERA
		<i>Assistant</i>	M. VINAÏ

56.02 PRÉVENTION - ÉPIDÉMIOLOGIE - ÉCONOMIE DE LA SANTÉ - ODONTOLOGIE LÉGALE

<i>Professeur</i>	B. FOTI *	<i>Assistant</i>	T. DRAUSSIN
<i>Professeur</i>	D. TARDIVO		

57^{ème} SECTION :

CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE

57.01 CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE

CHIRURGIE ORALE

<i>Maître de Conférences</i>	P. ROCHE-POGGI*	<i>Assistant</i>	R. CASTRO
<i>Maître de Conférences</i>	J. H. CATHERINE	<i>Assistant</i>	M. HADJ-SAÏD
<i>Maître de Conférences</i>	D. BELLONI	<i>Assistant</i>	Y. ROMANET
<i>Maître de Conférences</i>	F. CAMPANA		
<i>Maître de Conférences associé</i>	R. LAN		

PARODONTOLOGIE

<i>Professeur</i>	V. MONNET-CORTI *	<i>Assistant</i>	A. BOYER
		<i>Assistant</i>	C. DUMAS
		<i>Assistant</i>	S. MELLOUL
		<i>Assistant</i>	L. THOLOZAN

BIOLOGIE ORALE (Responsable Pr. Imad ABOUT)

<i>Maître de Conférences</i>	P. LAURENT	<i>Assistant</i>	C. LE FOURNIS
------------------------------	------------	------------------	---------------

58^{ème} SECTION :

REHABILITATION ORALE

58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTION-DYSFONTION, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

<i>Professeur</i>	F. BUKIET *	<i>Assistant</i>	B. BALLESTER
<i>Professeur</i>	H. TASSERY	<i>Assistant</i>	H. DE BELENET
<i>Maître de Conférences</i>	G. ABOUDHARAM	<i>Assistant</i>	A. DEVICTOR
<i>Maître de Conférences</i>	M. GUIVARC'H	<i>Assistant</i>	S. MANSOUR
<i>Maître de Conférences</i>	C. PIGNOLY	<i>Assistant</i>	L. MICHEL-ROLLET
<i>Maître de Conférences</i>	L. POMMEL	<i>Assistant</i>	V. PILLIOL
<i>Maître de Conférences</i>	E. TERRER		

PROTHÈSE

<i>Professeur</i>	M. RUQUET *	<i>Assistant</i>	N. CHAUDESAYGUES
<i>Maître de Conférences</i>	G. LABORDE	<i>Assistant</i>	M. DODDS
<i>Maître de Conférences</i>	M. LAURENT	<i>Assistant</i>	C. MANSUY-DALMAS
<i>Maître de Conférences</i>	G. MAILLE	<i>Assistant</i>	C. MENSE
<i>Maître de Conférences</i>	B.E. PRECKEL	<i>Assistant</i>	A. REPETTO
<i>Maître de Conférences</i>	G. STEPHAN	<i>Assistant</i>	A. SETTE
<i>Maître de Conférences</i>	P. TAVITIAN	<i>Assistant</i>	F. SILVESTRI
<i>Maître de Conférences</i>	A. TOSELLO		

FONCTION-DYSFONTION, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX

<i>Professeur</i>	J. DEJOU	<i>Assistant</i>	M. JEANY
<i>Professeur</i>	J. D. ORTHLIEB *		
<i>Professeur</i>	A. RASKIN		
<i>Maître de Conférences</i>	T. GIRAUD		
<i>Maître de Conférences</i>	A. GIRAUDEAU		
<i>Maître de Conférences</i>	B. JACQUOT		
<i>Maître de Conférences</i>	J. P. RÉ		

65^{ème} SECTION : BIOLOGIE CELLULAIRE

PROFESSEUR

I. ABOUT

RESPONSABLE PROFIL BIOLOGIE ORALE

Remerciements

A Monsieur le Professeur RUQUET Michel

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider cette thèse. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mes respectueux sentiments.

A Monsieur le Docteur LE GALL Michel

Je vous remercie d'avoir accepté de diriger cette thèse. Merci pour votre enseignement, votre pédagogie, et votre sympathie à mon égard depuis ces trois dernières années.

J'ai la chance d'avoir bénéficié du partage de vos connaissances et de votre science en orthodontie.

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

A Madame le Docteur PHILIP-ALLIEZ Camille

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse. Merci pour votre enseignement, vos qualités humaines, votre bienveillance. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma sincère reconnaissance.

A Madame le Docteur BARBERO Magali

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury. Merci pour votre apprentissage, votre disponibilité, et votre gentillesse. Apprendre à vos côtés est un réel plaisir. Veuillez trouver l'expression de ma gratitude la plus sincère.

A Monsieur le Docteur MATTERA Rémi

Je vous remercie d'avoir accepté de siéger dans ce jury. Votre enthousiasme et votre gentillesse m'ont beaucoup aidé durant ces années d'internat. Je vous remercie pour tout ce que vous m'avez appris.

Veuillez recevoir l'expression de mon plus grand respect.

Introduction	4
1. Chapitre 1 : L'histophysiologie du déplacement dentaire	6
1.1. Le mouvement dentaire provoqué	6
1.1.1. Cinétique du mouvement dentaire	6
1.1.2. Effets biologiques immédiats	7
1.1.3. Effets biologiques à court terme	7
1.1.3.1. Du côté en tension	7
1.1.3.2. Du côté en pression	9
1.1.4. Effets biologiques à long terme	10
1.2. Transformation de la force en réponse cellulaire : la mécanotransduction/ le remodelage osseux	11
2. Chapitre 2 : Les interventions accélératrices	12
2.1. Pourquoi accélérer le mouvement dentaire ?	12
2.2. Techniques chirurgicales	13
2.2.1. Techniques invasives	13
2.2.1.1. Le phénomène d'accélération régionale (PAR)	13
2.2.1.2. La corticotomie alvéolaire	14
2.2.1.2.1. Le concept chirurgical	14
2.2.1.2.2. Les indications	15
2.2.1.2.3. Le point sur la littérature	16
2.2.1.3. La distraction dento-alvéolaire	17
2.2.1.3.1. Le concept	17
2.2.1.3.2. Les indications	18
2.2.1.3.3. Le point sur la littérature	19
2.2.1.4. La discision	20
2.2.2. Techniques minimalement invasives	21
2.2.2.1. La piézocision	21
2.2.2.1.1. Le concept	21
2.2.2.1.2. Les indications	21
2.2.2.1.3. Le point sur la littérature	22

2.2.2.2.La corticision	24
2.2.2.2.1.Le concept	24
2.2.2.2.2.Les indications	25
2.2.2.2.3.Le point sur la littérature	25
2.2.2.3.Les micro-ostéoperforations	26
2.2.2.3.1.Le concept	26
2.2.2.3.2.Les indications	29
2.2.2.3.3.Le point sur la littérature	30
2.3.Les stimuli physiques	31
2.3.1.Le laser (LLLT Low-level laser therapy)	31
2.3.1.1.Le concept	31
2.3.1.2.Le point sur la littérature	32
2.3.2.Les vibrations	33
2.3.2.1.Le concept	33
2.3.2.2.Le point sur la littérature	34
2.3.3.Le champ électromagnétique pulsé	35
2.3.3.1.Le concept	35
2.3.3.2.Le point sur la littérature	36
2.4.Les stimuli chimiques	36
2.4.1.Les stimuli systémiques	36
2.4.1.1.Hormone parathyroïdienne	36
2.4.1.2.Analyse de la littérature	37
2.4.1.3.La vitamine D3	37
2.4.1.3.1.Analyse de littérature	38
2.4.2.Les stimuli locaux	40
2.4.2.1.Les prostaglandines	40
2.4.2.1.1.Analyse de la littérature	40
2.4.2.2.Le ligand RANKL	41
2.4.2.3.Injection de relaxine	42

2.4.2.4. Analyse de la littérature	43
Conclusion	44

INTRODUCTION

Le traitement orthodontique est considéré de nos jours comme un traitement long. L'orthodontie moderne vise aujourd'hui à réduire ce temps de traitement. Selon une méta-analyse publiée en 2015 et rassemblant 25 études évaluant la durée moyenne du traitement orthodontique, il en ressort que le traitement orthodontique dure en moyenne 20 mois. (1)

Une revue systématique publiée par Mavreas et Athanasios visait à évaluer les différents facteurs influençant la durée du traitement orthodontique. Les auteurs ont analysé des études de 1990 à 2005. (2)

Selon cette étude :

- il semblerait qu'un traitement avec extraction est plus long qu'un traitement sans extraction ;
- l'âge ne semble pas modifier le temps de traitement,
- la durée d'un traitement orthodontico-chirurgicale semble être opérateur dépendant ;
- divers facteurs peuvent modifier la durée du traitement comme la technique utilisée, les compétences du praticien, la compliance du patient et le type de malocclusion ;
- les canines incluses semblent prolonger le temps de traitement.

Le traitement orthodontique n'est pas sans risque ; en effet des atteintes du parodonte superficiel (récessions gingivales et gingivites) peuvent survenir, des atteintes du parodonte profond (maladies parodontales), mais aussi des lésions carieuses (l'appareil orthodontique fixe retient la plaque et exige une hygiène correcte de la part du patient). Les résorptions radiculaires externes sont aussi à craindre lors d'un traitement orthodontique. De même un traitement long impose une motivation du patient sur une longue période.

Plus ce traitement est long plus ces risques ont de chance de survenir ; ce qui complique la fin du traitement voire même oblige le praticien à stopper le traitement.

La population des patients candidats à l'orthodontie est représentée en majorité par des adolescents, cependant de plus en plus de patients adultes sont appareillés. Une des principales motivations du patient adulte est l'esthétique.

Pour répondre à cette demande :

- des appareils orthodontiques esthétiques : les gouttières, les attaches céramiques, et l'appareil multi-attaches lingual ;
- diminuer le port de l'appareil orthodontique grâce aux interventions accélératrices de traitement.

Ainsi réduire le temps de traitement orthodontique est souhaitable car cela permet de diminuer l'apparition des effets indésirables du traitement orthodontique, de répondre à la demande esthétique, et d'éviter les abandons en cours de traitement (3).

C'est sur la base de ce constat que nous comprenons l'intérêt des praticiens à vouloir diminuer le temps de traitement orthodontique.

Après avoir exposé les bases physiologiques du déplacement dentaire et d'en avoir compris le mécanisme, ce travail nous permettra de passer en revue les différentes techniques visant à accélérer le traitement, et d'analyser la littérature actuelle les concernant.

1. CHAPITRE 1 : L'HISTOPHYSIOLOGIE DU DÉPLACEMENT DENTAIRE

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

1.1. Le mouvement dentaire provoqué

1.1.1. Cinétique du mouvement dentaire

Le déplacement dentaire se décompose en 3 phases (4) :

- La phase « initiale » (24 heures à 2 jours) correspond à un mouvement rapide immédiat de faible amplitude de la dent dans son alvéole.
- La période de « latence » (20 à 30 jours) durant laquelle aucun mouvement de la dent ne se fait. C'est l'élimination de la zone hyaline, qui est une nécrose localisée du ligament alvéolo-dentaire (LAD) au site de compression (opposé à l'application de la force orthodontique). Le mouvement dentaire reprendra lorsque la zone hyaline sera éliminée par résorption directe ou indirecte.
- La période de « post-latence », qui termine le déplacement jusqu'à la prochaine activation. Le taux de déplacement augmente au cours de cette phase.

1.1.2. Effets biologiques immédiats

Le déplacement dentaire est déterminé par des phénomènes bioélectriques et des phénomènes de pression.

Il existe 2 théories expliquant le déplacement dentaire :

La théorie piézo-électrique, selon laquelle les contraintes subies par l'os alvéolaire génèrent des courants électriques qui vont modifier le métabolisme des cellules osseuses.

La théorie de pression/tension selon laquelle l'application d'une force orthodontique sur la dent entraîne une zone de compression des vaisseaux sanguins (zone opposée à l'application de la force) et une zone d'extension des fibres ligamentaires (du côté de l'application de la force).

1.1.3. Effets biologiques à court terme

Durant six semaines après l'application de la force orthodontique, un phénomène inflammatoire est en place.

Cette réaction inflammatoire chronique se caractérise par des phénomènes de proliférations cellulaires.

Nous allons décrire les différents mécanismes physiologiques en fonction du côté d'application de la force, selon le modèle proposé par Meikle (5).

1.1.3.1. Du côté en tension

Du côté en tension, les fibroblastes vont initier les réactions cellulaires. Ils vont synthétiser des cytokines qui entraînent une dégradation de la matrice extracellulaire, ainsi qu'un facteur de croissance endothélial (Vascular Endothelial Growth Factor VEGF), à l'origine de l'angiogénèse.

Les néo-ostéoblastes (issus de la différenciation ostéoblastique des fibroblastes) et les ostéoblastes quiescents vont synthétiser la matrice ostéoïde.

Les fibroblastes sont histologiquement très proches des ostéoblastes, deux gènes les différencient :

- Cbfa-1 qui est le marqueur de la différenciation ostéoblastique.

- Ostéocalcine qui est un inhibiteur de l'activité ostéoblastique, présent uniquement sur les ostéoblastes différenciés et dont l'expression est régulée par Cbfa-1 (Figure 1).

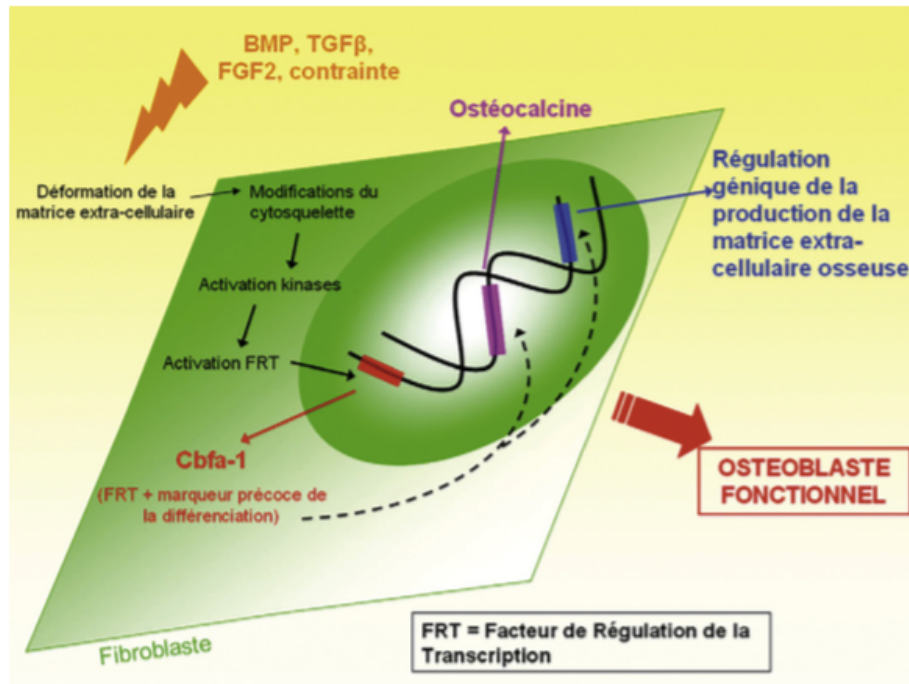


Figure 1 : La différenciation ostéoblastique (4)

1.1.3.2. Du côté en pression

Une compression du ligament apparait sur plusieurs zones.

Les vaisseaux sanguins sont eux aussi comprimés ce qui entraîne une interruption du flux sanguin et un phénomène d'apoptose. Au niveau du ligament alvéolaire, ces zones d'apoptose cellulaire sont appelées zones hyalines acellulaires. Elles bloquent le mouvement dentaire.

Les ostéoblastes sont les principales cellules présentes dans ces zones en compression.

La compression des fibroblastes entraîne la production de cytokines (IL_1 , IL_6) qui favorisent la prolifération de monocytes et l'expression, par les ostéoblastes, du ligand $RANK_L$ intervenant dans la différenciation ostéoclastique.

Les monocytes vont se transformer en cellules géantes multinucléées qui expriment le récepteur $RANK$. Ces cellules vont alors se différencier en ostéoclastes au contact des ostéoblastes exprimant le ligand $RANK_L$.

Les ostéoclastes font partie de la famille des macrophages.

Pour obtenir un mouvement dentaire il doit y avoir une résorption de l'os. Il y a deux types de résorption ; la résorption directe latérale (celles des zones hyalines) et la résorption indirecte (à distance des zones hyalines).

Tant que les zones hyalines ne sont pas résorbées le mouvement dentaire ne se produit pas (Figure 2).

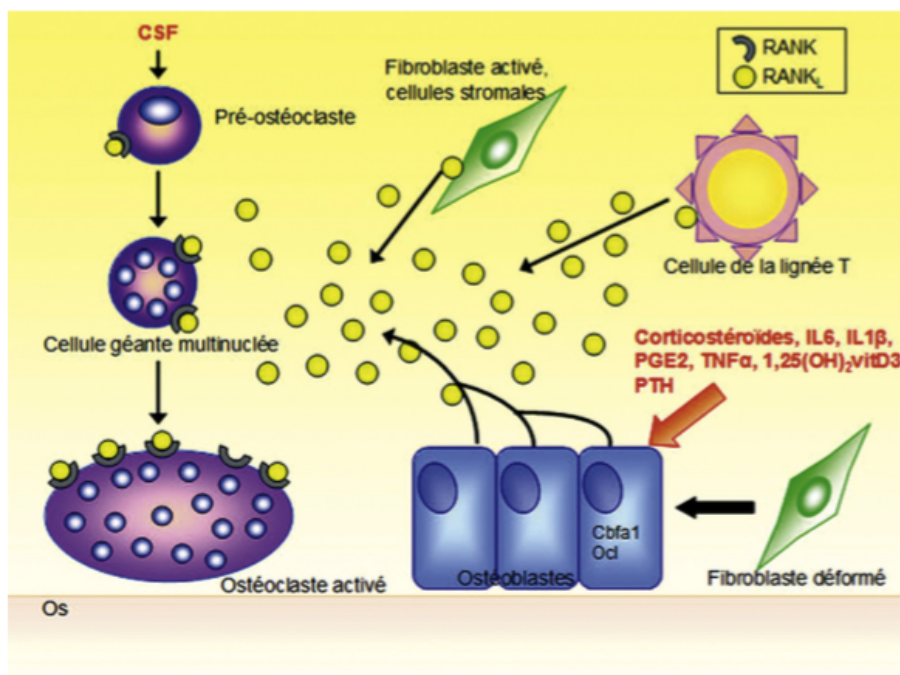


Figure 2 : La différenciation ostéoclastique (4)

1.1.4. Effets biologiques à long terme

Lorsque la force orthodontique n'agit plus, il se produit une inversion du cycle cellulaire : la lacune osseuse doit être « comblée ». C'est alors que les ostéoclastes disparaissent pour laisser place aux ostéoblastes.

Ceux sont les ostéoblastes qui synthétisent la matrice osseuse, laquelle sera minéralisée par la suite par les ostéocytes.

Lorsque la balance résorption/apposition est équilibrée, les réactions tissulaires sont stoppées.

Les ostéoclastes sont activés grâce à la liaison du ligand RANK (produit par les cellules environnantes) avec le récepteur RANK.

Lorsque la contrainte cesse, les ostéoblastes vont produire (sous l'influence de diverses molécules (calcitonine, oestrogènes, IL_4)) l'ostéoprotégérine (OPG).

L'OPG est une molécule mimant le récepteur RANK, ce qui « trompe » le ligand RANKL qui se lie à celle-ci.

La liaison OPG/RANKL empêche celle de RANKL/RANK et donc inhibe l'activation des ostéoclastes (Figure 3).

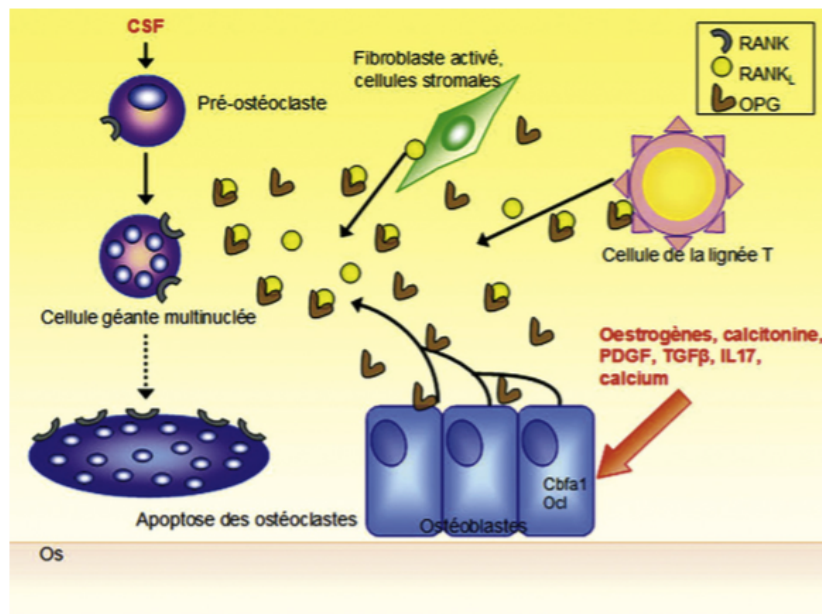


Figure 3 : Inhibition de la production d'ostéoclastes (4)

1.2. Transformation de la force en réponse cellulaire : la mécanotransduction/ le remodelage osseux

Toutes les activations cellulaires décrites précédemment concourent au remodelage de l'os alvéolaire durant le traitement orthodontique.

Ce remodelage se fait selon un cycle décrit par Baron : le cycle ARIF (4).

Il se décompose en quatre phases :

- La première phase est celle d'activation « A » qui correspond à l'arrivée des ostéoblastes (pré-ostéoclastes) sur la surface osseuse ainsi qu'à la libération de collagénases par les fibroblastes.
- La phase de résorption « R », elle se caractérise par la présence des néo-ostéoclastes (issus de la différenciation ostéoclastique) sur la matrice osseuse : la résorption osseuse commence.
- La phase d'inversion « I », elle est concomitante à l'arrêt de la contrainte sur la dent. Les phénomènes cellulaires s'inversent : l'activité ostéoclastique est inhibée par la présence des ostéoblastes (production de OPG).
- La phase de formation « F », durant cette phase la lacune formée lors de la phase « R » va être comblée par les ostéoblastes présents, qui synthétisent une matrice ostéoïde. Les ostéoblastes se transforment ensuite en ostéocytes qui minéralisent la matrice.

Ce cycle se reproduit à chaque activation de l'appareil orthodontique. Lorsque la force n'agit plus un équilibre est atteint entre résorption et formation osseuse ; il n'y a plus de réactions cellulaires (6) (Figure 4).

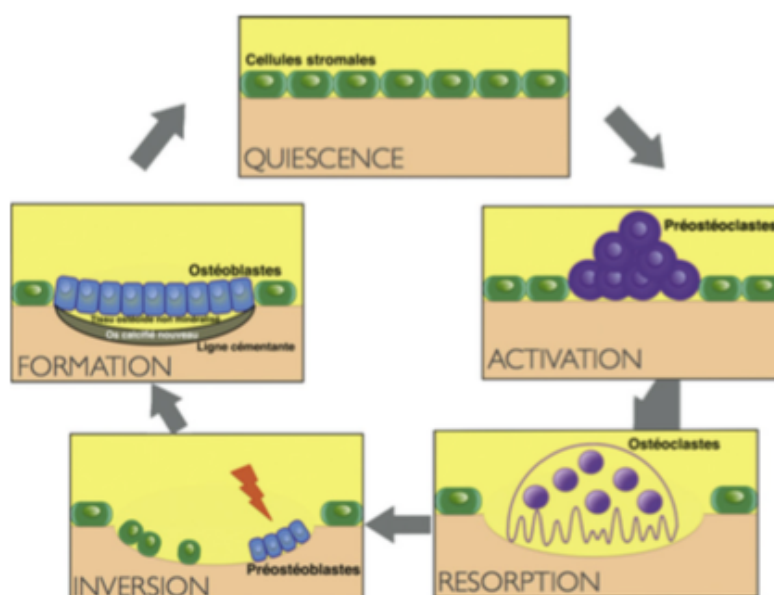


Figure 4 : Le cycle ARIF (4)

2. CHAPITRE 2 : LES INTERVENTIONS ACCÉLÉRATRICES

2.1. Pourquoi accélérer le mouvement dentaire ?

L'un des principaux enjeux actuels en orthodontie est de réduire la durée du traitement sans en compromettre les objectifs fonctionnels et esthétiques.

Selon l'Association Américaine des Orthodontistes (AAO), la durée moyenne du traitement orthodontique est de un à trois ans.

Certaines études évaluant la durée moyenne du traitement orthodontique ont mesuré une durée de 21 à 27 mois, d'autres une moyenne allant de 24 à 36 mois (7).

Selon une revue systématique de 2015 la durée moyenne d'un traitement complet par appareil multi-attaches serait de moins de 2 ans (8).

Selon la plupart des études évaluant la durée de traitement, les traitements avec extractions et ceux avec canines incluses seraient plus longs (9).

La durée du traitement orthodontique est dépendante de trois variables (10) :

- **Le praticien**, par le diagnostic posé, la qualité du plan de traitement, l'appareillage utilisé, sa connaissance de la mécanique et l'anticipation des effets indésirables.
- **Le patient**, par le respect des rendez-vous, une bonne hygiène buccale, l'intégrité des appareils et le respect des instructions du praticien (port des élastiques par exemple).
- **La situation clinique**, le type de malocclusion, le plan de traitement, la biologie osseuse (parodontopathie, os dense d'un patient hypodivergent).

Plus le traitement orthodontique est long et plus les effets indésirables risquent de survenir :

- **Les résorptions radiculaires** peuvent apparaître du fait d'un manque de maîtrise de la mécanique; de mouvements de va et vient, des mouvements d'ingression trop importants ou l'utilisation de forces trop lourdes non maîtrisées.
- **Les lésions carieuses** peuvent apparaître chez des patients avec une hygiène insuffisante; en effet les attaches orthodontiques retiennent le biofilm. Le contrôle de la plaque dentaire doit donc être d'autant plus important avec un appareillage.

- **Les parodontopathies** sont surtout à craindre chez des patients avec un biotype parodontal fin (types 3 et 4 de Maynard et Wilson). Le praticien doit donc collaborer avec le chirurgien dentiste et contrôler régulièrement (tous les 3 à 4 mois) cliniquement et radiologiquement l'état du parodonte. L'orthodontiste doit adapter les mouvements dentaires au parodonte ainsi que les forces utilisées.

De plus en plus de patients adultes sont demandeurs de traitement orthodontique, dont les principales motivations sont esthétiques.

Il serait donc plus intéressant de proposer des traitements plus rapides pour éviter les effets indésirables et répondre à la demande esthétique (3) (2).

2.2. Techniques chirurgicales

2.2.1. Techniques invasives

2.2.1.1. Le phénomène d'accélération régionale (PAR)

En 1959, Kõle met en place une technique de corticotomie alvéolaire avec deux incisions verticales corticales de part et d'autre de la dent et une incision horizontale au dessus de l'apex dentaire, la levée d'un lambeau muco-périosté puis la réalisation de traits d'ostéotomie. Kõle observe une accélération des mouvements dentaires qu'il explique par des mouvements de « blocs osseux » indépendants les uns des autres.

Cette théorie des « blocs osseux » va être réfutée lorsqu'en 1981, Frost (orthopédiste) (11), observe qu'une agression chirurgicale sur des os longs entraîne à proximité du site une réorganisation tissulaire qui se traduit au niveau osseux par une augmentation de l'activité ostéoclastique, se traduisant par un turn-over osseux accru et une diminution de la densité osseuse. Un état ostéopénique fait suite à cette agression de l'os puis le renouvellement cellulaire se met en place : c'est la régénération osseuse.

Il va nommer ce processus : Le phénomène régional d'accélération ou PAR (Regional acceleratory phenomenon).

Ce phénomène est exploité dans les techniques chirurgicales décrites ci-dessous.

2.2.1.2. La corticotomie alvéolaire

2.2.1.2.1. Le concept chirurgical

Le concept de corticotomie alvéolaire est apparu à la fin du XIX^{ème} siècle. Il a pour objectif de fragiliser la zone alvéolaire en question, afin d'obtenir un mouvement dentaire plus rapide.

C'est une blessure osseuse qui change la biologie de l'os.

La corticotomie, par son agression chirurgicale locale, est responsable de cette cascade physiologique; en effet on observe une augmentation de l'activité ostéoclastique (avec un turn over cellulaire important) et une perte de densité osseuse, suivies d'une ostéopénie locale transitoire qui précède la cicatrisation osseuse. Le PAR se produit pendant environ trois mois dans l'os après l'agression de celui-ci.

Le temps chirurgical se divise en un temps muqueux et un temps osseux.

Il y a d'abord la levée d'un lambeau mucopériosté, suivie de nombreuses perforations et coupures de l'os cortical (dans toute son épaisseur) et superficiellement de l'os alvéolaire entre les racines des dents à déplacer, réalisées à l'aide d'un outil rotatif à grande vitesse sous irrigation. Les incisions de l'os alvéolaire et cortical sont parallèles aux racines dentaires (et de chaque côté de celles-ci) (Figure 5).

La corticotomie est donc une technique de décortication osseuse (destruction d'une partie de l'os cortical et alvéolaire) et non une ostéotomie. Elle correspond à une blessure de l'os cortical créant une modification biologique en faveur de la résorption osseuse sur une fenêtre d'environ deux à trois mois.

C'est donc dans cet espace temporel que le praticien peut utiliser ce remodelage osseux pour accélérer le traitement (12).

Dans les années 2000, les frères Wilcko (13) introduisent une nouvelle technique de corticotomie alvéolaire, conservant deux incisions verticales inter-proximales et la levée d'un lambeau de pleine épaisseur, associées à l'apport d'une greffe osseuse. Ce qui permettrait de limiter certains effets indésirables (comme la déhiscence, et les fenestrations osseuses) et d'obtenir une amplitude du mouvement dentaire dans la dimension antéro-postérieure plus importante.

Ils réfutent la théorie des « blocs osseux », d'après eux le mouvement dentaire se fait selon la théorie du PAR (expliqué ci-dessus), donc grâce à une densité osseuse moins dense et un remodelage osseux plus rapide. Ils mettent en place

la théorie du PAOO « *periodontally accelerated osteogenic orthodontics* » (« *Mouvement Orthodontique Accéléré par Stimulation Ostéogénique du Parodonte* »).

La technique de corticotomie alvéolaire est considérée comme invasive et traumatique par la plupart des auteurs (14) (7).



Figure 5 : Incisions de corticotomie (10)

2.2.1.2.2. Les indications

Les corticotomies sont principalement indiquées chez l'adulte.

En effet une des causes de refus des patients adultes pour le traitement orthodontique est la durée de celui-ci ; la corticotomie alvéolaire est un moyen de réduire ce temps de traitement et donc de répondre à la demande du patient.

Les corticotomies peuvent être indiquées dans plusieurs malocclusions :

- les béances antérieures ;
- les supraclusions ;
- la fermeture d'espace d'extraction ;
- l'égression ou l'ingression d'une dent ;
- l'inclusion d'une canine.

La corticotomie n'est pas indiquée dans les cas d'ankylose. Les corticotomies provoquent une réaction PAR qui comprend une augmentation du remodelage osseux et non un déplacement en « bloc osseux ».

La technique d'Orthodontic Bone Stretching, initialement dédiée aux implants ostéo-intégrés, permettrait de palier cette limitation.

Cette technique chirurgicale reste une aide au traitement orthodontique, on parle de « corticotomie facilitatrice », et un moyen thérapeutique à la portée de l'orthodontiste en collaboration avec le chirurgien-dentiste.

2.2.1.2.3. Le point sur la littérature

En 2013, Long *et al.*, ont réalisé une revue systématique rassemblant des articles publiés de 1990 à 2011 concernant toutes les interventions accélératrices de mouvement orthodontique, et selon laquelle la corticotomie serait une technique efficace pour raccourcir la durée du traitement orthodontique (15).

Sousa Gil *et al.*, en 2017, ont réalisé une revue systématique sur la durée moyenne d'un traitement orthodontique avec corticotomie. Les résultats obtenus sont de 8,85 mois avec corticotomie, contre 16,4 mois pour un traitement conventionnel (16).

D'après une revue systématique de Viwattanatipa, publiée en 2017, la corticotomie augmenterait de deux à quatre fois le mouvement dentaire dans la rétraction canine, comparativement à une technique sans micro-chirurgie. Elle serait de même plus efficace associée à la levée de deux lambeaux (vestibulaire et palatin) qu'à un seul lambeau (vestibulaire). Cependant elle reste une technique invasive (8).

La littérature scientifique semble donc démontrer une diminution réelle du temps de traitement grâce à la corticotomie alvéolaire, notamment dans les premières phases du traitement (phase de nivellement) et lors de la rétraction canine (17). Il est aujourd'hui admis que la corticotomie est une technique efficace dans l'accélération du mouvement dentaire.

Mais cette technique chirurgicale reste invasive (avec la levée d'un lambeau de pleine épaisseur et les multiples perforations osseuses profondes). Elle est donc difficilement acceptable par les patients. Son caractère invasif empêche l'utilisation répétée pendant le traitement (10).

2.2.1.3. La distraction dento-alvéolaire

2.2.1.3.1. Le concept

La technique de distraction dento-alvéolaire permet un mouvement dentaire rapide et selon un mécanisme d'ostéogénèse de distraction (18).

La distraction permettrait une fermeture de l'espace prémolaire en 9 à 14 jours.

Temps opératoires (dans le cadre de traitement par extraction des premières prémolaires maxillaires) (Figure 6) :

- Réalisation de multiples perforations corticales à l'aide d'une fraise ronde carbure de tungstène sous haute irrigation, le long d'une ligne verticale sur la face mésiale de la canine. Le forage continue jusqu'à 3 à 5mm de l'apex en se courbant à son niveau.
- Le même procédé est réalisé sur la face distale de la canine à rétracter.
- Une fraise fissure est utilisée afin de relier l'ensemble des perforations réalisées dans l'os.
- La distraction chirurgicale manuelle est réalisée grâce à un ostéotome, afin de dissocier la racine de l'os cortical.
- Le distracteur est posé. Le distracteur est un appareil réalisé en acier inoxydable, il est activé 1 à 2 jours après sa pose. L'activation se fait 2 fois par jour (une fois le matin, une fois le soir) avec une quantité de 0,8mm par jour.

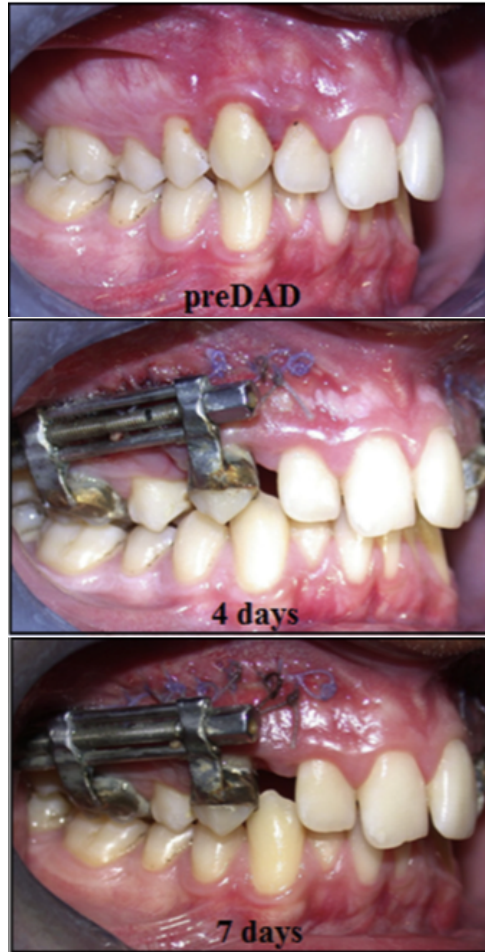


Figure 6 : Distracteur pour recul de la canine (17)

2.2.1.3.2. Les indications

Jusqu'à présent, la distraction dento-alvéolaire a été réalisée uniquement dans les cas de traitement par extraction de prémolaires, pour faciliter le recul canin.

2.2.1.3.3. Le point sur la littérature

En 2006, Sukurica *et al.* ont réalisé une étude dont l'objectif était d'obtenir un recul canin rapide dans le cadre de traitement par extraction de premières prémolaires, par la technique de distraction dento-alvéolaire.

L'étude clinique portait sur 8 patients et concernait 20 dents, le traitement orthodontique était un traitement par extractions de premières prémolaires maxillaires ou mandibulaires.

La fermeture de l'espace prémolaire a été obtenue entre 12 à 28 jours, le déplacement des canines variait de 3 à 8 mm.

Ces résultats ne permettent pas de conclure sur la plus grande vitesse de recul des canines par rapport à un traitement conventionnel, l'étude étant une étude de cas (19).

En 2017, Kurt *et al.* ont testé l'hypothèse nulle selon laquelle la durée de traitement peut être diminuée significativement dans les traitements par extraction de premières prémolaires grâce à la distraction dento-alvéolaire.

Trente trois patients ont été intégrés dans l'étude. Deux groupes ont été constitués ; un groupe de 19 patients (36 canines) qui recevaient le dispositif de distraction intra buccal, et un autre groupe de 14 patients (28 canines) pour lequel la distalisation était réalisée grâce à des élastiques.

Le taux moyen de rétraction des canines dans le groupe avec distraction était de 0,67 mm et de 0,03 mm dans le groupe avec utilisation d'élastiques intra-oraux. En moyenne les canines du groupe utilisant la distraction ont été rétractées de 7,9 mm en 11,8 jours, alors que les canines du groupe témoin ont été rétractées d'environ 5,29 mm en 200 jours.

Les résultats montrés sont significatifs. Cette étude n'a donc pas rejeté l'hypothèse nulle de départ.

Selon cette étude clinique, la distraction dento-alvéolaire permettrait d'accélérer considérablement le traitement orthodontique par extraction (18) (15).

La distraction dento-alvéolaire semble pouvoir accélérer le mouvement dentaire, mais cette technique est très invasive du fait de l'acte chirurgical mais aussi de l'appareillage qui est encombrant pour le patient.

2.2.1.4. La discision

La discision est une technique chirurgicale décrite en 2018 par Buyuk *et al.* dans une publication concernant l'étude d'un cas clinique (20).

Les auteurs expliquent le choix de cette technique en raison des suites opératoires des autres techniques chirurgicales, trop inconfortables pour le patient.

La procédure chirurgicale est simple : après anesthésie péri-apicale de la 16 à la 26, une incision est réalisée grâce à une scie à disque (Osstem Implant, Esset KIT-Saw, Séoul, Corée), d'une profondeur de 2mm (Figure 7).

Le traitement orthodontique de la patiente a été réalisé dans un délai de 4 mois avec un rapport de classe I canine et molaire obtenu à la fin du traitement. La patiente présentait initialement un encombrement mandibulaire et maxillaire dans un schéma de classe I squelettique et dentaire.

Cette technique n'étant citée que par ces auteurs, des données supplémentaires sont nécessaires afin de conclure sur l'efficacité ou non de la discision.



Figure 7 : Incisions type « discision » (19)

2.2.2. Techniques minimalement invasives

2.2.2.1. La piézocision

2.2.2.1.1. Le concept

Tout comme pour la corticotomie alvéolaire, un lambeau de pleine épaisseur est levé en regard de la dent concernée, puis un insert de piézochirurgie vient inciser la corticale osseuse.

Cette technique de microchirurgie a été amenée par Vercellotti et Podesta cités par J. Strippoli et J-J. Akinin (14).

La piézocision est moins invasive en raison de la finesse de l'insert piézoélectrique, et provoquerait moins de résorptions parodontales et osseuses.

Les incisions osseuses sont de 3 mm de profondeur et de 5 mm de hauteur de part et d'autre des racines à mobiliser.

Dibart *et al.* ont introduit en 2011 une variante à cette technique, avec des micro-incisions de l'os directement au travers de la muqueuse, sans réaliser de lambeau. Cette technique est moins invasive et la cicatrisation osseuse et gingivale est meilleure. Elle peut être accompagnée d'augmentation osseuse par tunnelisation entre les incisions muqueuses (11) (Figure 8).

2.2.2.1.2. Les indications

Les indications de la piézocision sont les mêmes que celles de la corticotomie.

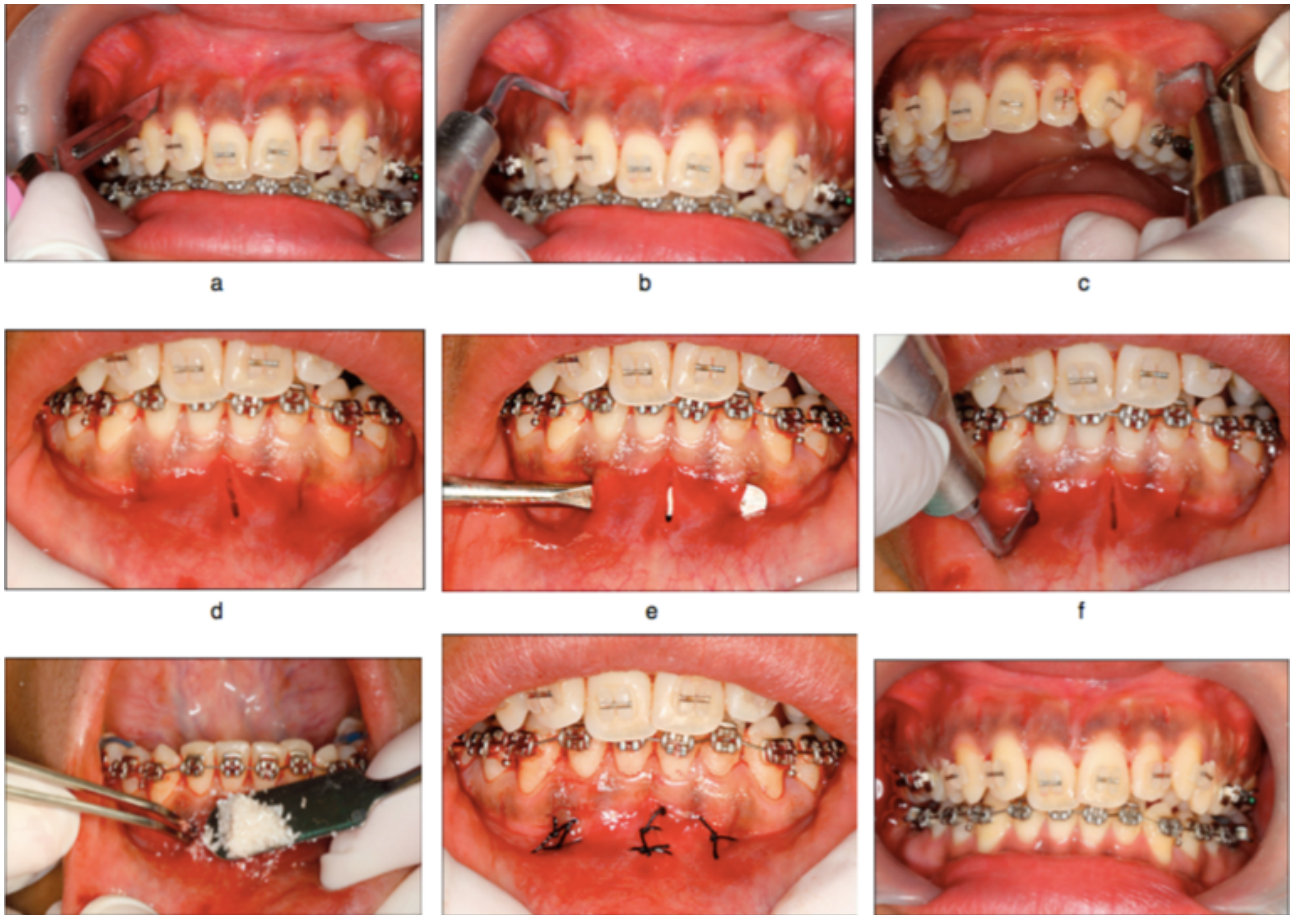


Figure 8 : Technique de piézocision avec apport de biomatériaux par tunnelisation (11)

2.2.2.1.3. Le point sur la littérature

En 2017, une revue systématique de la littérature réalisée par Yi *et al.*, analysant des articles publiés entre 1959 et 2013 portant sur l'ensemble des techniques accélératrices, met en évidence l'efficacité de la piézocision dans l'augmentation du mouvement dentaire. En conclusion de cette revue la piézocision est une des meilleures approches chirurgicales car elle entraîne une bonne réponse des tissus parodontaux et un bon résultat esthétique (3).

La première étude contrôlée randomisée est publiée par Charavet *et al.* en 2016. Elle a pour objectif d'évaluer les effets de la piézocision durant les traitements orthodontiques chez des patients avec un encombrement léger à modéré au maxillaire et/ou à la mandibule. Vingt-quatre patients adultes présentant un encombrement léger à modéré ont été répartis au hasard en deux groupes; soit dans un groupe témoin traité avec orthodontie conventionnelle, soit dans un

groupe expérimental recevant une orthodontie piézo-assistée. Les piézocisions ont été réalisées une semaine après la pose de l'appareil orthodontique. Les patients ont été vus en contrôle tous les quinze jours. Les résultats montrent une durée significativement plus courte du traitement assisté par piézocision (de 43%) comparativement à la technique conventionnelle. Les paramètres parodontaux ont été évalués ; aucune augmentation des récessions gingivales et des résorptions radiculaires n'a été constatée. La satisfaction des patients dans le groupe avec piézocision était significativement meilleure. Cependant l'étude révèle la présence de cicatrices gingivales mineures chez 50% des patients du groupe avec piézocision. Les résultats de l'étude sont prometteurs quant aux effets accélérateurs de la piézochirurgie dans le cadre d'encombrement léger à modéré, cependant la présence de cicatrices gingivales limite l'indication chez des patients avec un sourire gingival (21).

D'après la revue systématique de Viwattanatipa en 2017, la rétraction canine aidée par piézocision et par corticotomie montre un résultat deux fois plus rapide que par une technique conventionnelle. Cependant la piézocision semble être une meilleure alternative pour accélérer le mouvement dentaire dans les cas de rétraction canine, par rapport à la corticotomie alvéolaire, en raison du caractère moins invasif de la chirurgie (8).

D'après un essai randomisé publié en 2018 par Gibreal *et al.*, la piézocision sans élévation de lambeau est un moyen efficace pour accélérer le mouvement dentaire. Les résultats ont été analysés pour 34 patients sur le temps d'alignement des dents antérieures mandibulaires, qui a été réduit de 59% par rapport au groupe témoin (technique orthodontique conventionnelle) avec une différence statistiquement significative ($p < 0,05$) (22).

Charavet *et al.* ont publié en 2019 une étude clinique randomisée dont l'objectif était d'évaluer les effets de la piézocision dans l'accélération du mouvement dentaire durant le traitement orthodontique.

Cette étude a été menée sur 24 patients adultes présentant un léger encombrement et candidats à un traitement orthodontique. Les patients ont été répartis aléatoirement en deux groupes ; un groupe test (traitement avec appareil multi-attaches conventionnel) et un groupe expérimental (traitement multi-attaches et piézocision). Les résultats de l'étude ont évalués le temps global de traitement des deux groupes mais aussi certaines caractéristiques cliniques comme les résorptions radiculaires, les récessions gingivales et la

présence de cicatrices. Les résultats ont montré une diminution significative du temps de traitement dans le groupe avec piézocision durant la phase d'alignement. Aucune différence des caractéristiques cliniques et radiologiques évaluées n'a été significative entre les groupes, hormis la présence plus importante de légères cicatrices dans le groupe traité avec piézocision. Cette étude nous permettrait donc de conclure à une efficacité de la piézocision pour accélérer le mouvement dentaire dans la phase d'alignement (23).

En conclusion ; la littérature est fournie au sujet de la piézocision et nous permet d'affirmer son efficacité dans les premières phases d'alignement. Elle permet de palier le caractère invasif de la corticotomie alvéolaire. Cependant la piézocision entraîne des légères cicatrices gingivales, elle est donc à éviter chez les patients présentant un sourire gingival.

2.2.2.2. La corticision

2.2.2.2.1. Le concept

En 2006, Park introduit le concept de corticision, qui est une corticotomie sans lambeau («flapless corticotomy»), afin de limiter les phénomènes d'épaississement ligamentaire, de mobilité augmentée et de diminution de la densité osseuse provoqués par l'élévation d'un lambeau de pleine épaisseur dans les techniques de corticotomie (12).

Park s'inspire d'une étude menée par Germeç *et al.* qui montre qu'une incision vestibulaire est suffisante pour accélérer le mouvement dentaire (24).

Les incisions osseuses sont réalisées au travers même de la gencive (transmuqueuses), à l'aide d'un scalpel renforcé et d'un maillet chirurgical. La corticision est une technique plus rapide et moins invasive que la technique conventionnelle.

Cependant la corticision n'offre pas la possibilité de réaliser une greffe osseuse ou gingivale afin de renforcer le site, aussi les chocs répétés avec le maillet chirurgical provoqueraient des vertiges en post-opératoire (25).

Sebaoun *et al.* vont reprendre l'idée de Park en y intégrant la piézo-chirurgie afin de palier les inconvénients de la technique initiale. Une incision transmuqueuse à l'aide d'un scalpel de chaque côté du site (en interproximal) et jusqu'au

contact osseux puis, la décortication locale grâce à l'insert de piézo-chirurgie au travers des incisions. Si une greffe osseuse ou gingivale est nécessaire l'opérateur peut utiliser un décolleur et réaliser les greffes à l'aide de la technique de tunellisation (11).

2.2.2.2.2. Les indications

Les indications sont les mêmes que pour la corticotomie alvéolaire.

2.2.2.2.3. Le point sur la littérature

La littérature est peu fournie concernant la technique de corticision et le peu d'articles existant ont un faible niveau de preuve.

Un essai clinique mené en 2008 par Kim *et al.* sur des chats avait pour objectif d'étudier et de comparer les effets de la corticision par rapport à une technique avec appareil orthodontique seulement. Selon cette étude ; la corticision s'avère être une technique efficace pour accélérer le mouvement dentaire. Cet essai montre aussi qu'elle induit moins de hyalinisation de l'os et une élimination plus rapide de ce tissu hyalinisé (ce qui permet alors un mouvement plus rapide comparativement à une technique conventionnelle) (25).

Une étude menée sur des rats en 2016 par Librizzi *et al.* dont l'objectif était d'évaluer l'effet de la corticotomie et de la corticision sur l'amplitude du mouvement dentaire sur des groupes de rats n'a montré aucune différence entre une technique conventionnelle et la corticision avec ou sans lambeau. De même, aucune différence n'a été montrée entre la corticotomie et la corticision quant à l'amplitude du mouvement dentaire (17).

Un essai clinique randomisé sur 41 personnes a été réalisé en 2017. Celui-ci avait pour objectif d'évaluer le temps de traitement d'un encombrement mandibulaire antérieur avec et sans technique de corticision associée à la piézo-chirurgie. Deux groupes ont été constitués ; un groupe témoin avec un appareillage fixe autoligaturant et un autre groupe avec le même appareillage et une technique d'orthodontie accélératrice : la corticision avec piézo-chirurgie. Les résultats de cette étude n'ont pas montré de différence dans le temps d'alignement des dents antérieures mandibulaires (26).

La littérature pauvre sur le sujet, ne nous permet pas de tirer une conclusion quant à l'effet accélérateur de la corticision. Des études cliniques randomisées supplémentaires sont nécessaires.

2.2.2.3. Les micro-ostéoperforations

2.2.2.3.1. Le concept

Les micro-ostéoperforations (MOP) sont une technique d'accélération dont les effets biologiques sont les mêmes que dans les techniques décrites précédemment : le PAR. Les MOPs sont une alternative moins invasive à la corticotomie (27).

La technique opératoire des MOPs est simple. Après anesthésie, des micro-perforations osseuses sont réalisées à l'aide de mini-vis montées sur tournevis (Propel®) ou contre angle (Pour les corticales plus épaisses ou plus difficiles d'accès) (Figure 10). La technique consiste à placer la vis dans la corticale, et une fois la longueur de la perforation atteinte, la dévisser (10) (Figures 9 et 11).

Les MOPs semblent donc être un acte moins invasif et plus facile de réalisation ; pouvant alors être à la portée de l'orthodontiste dans sa pratique quotidienne.

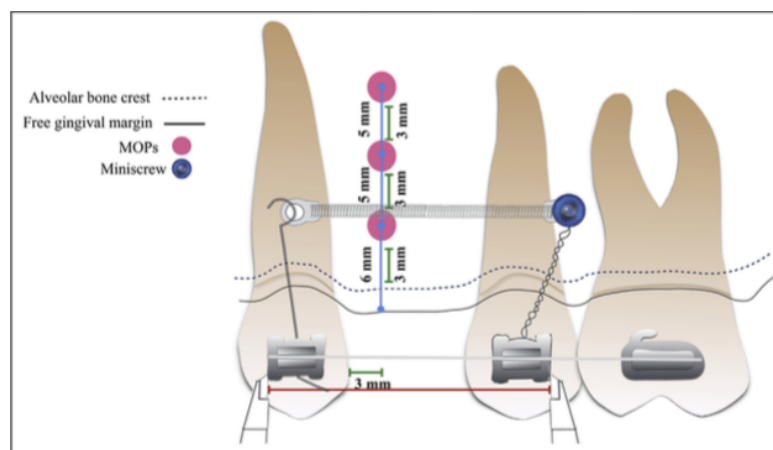


Figure 9 : Schéma illustrant la position des MOPs dans le recul canin (9)



Figure 10 : Schéma montrant l'utilisation du tournevis : le Propel® (9)

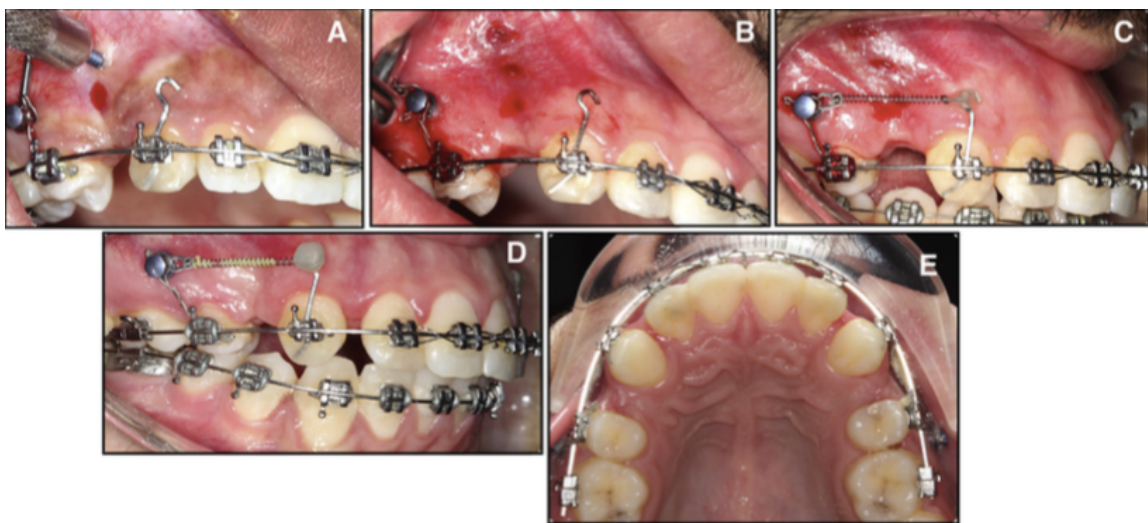


Figure 11 : MOPs lors de la rétraction canine (9)



Figure 12 : Schéma montrant l'utilisation des MOPs pour une fermeture d'espace (9)



Figure 13 : Schéma montrant l'utilisation des MOPs pour les mouvements molaires (9)

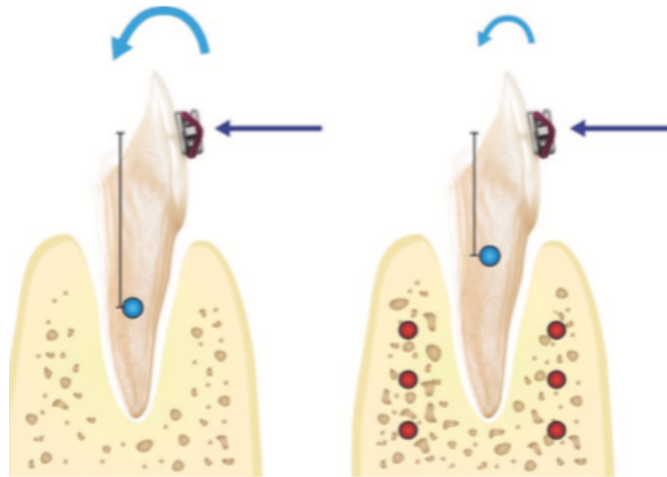


Figure 14 : Schéma montrant l'utilisation des MOPs pour modifier le point d'application d'une force (9)

2.2.2.3.2. Les indications

Utilisations cliniques des micro-ostéoperforations (28) :

- Rétraction incisive ;
- encombrement antérieur ;
- désinclusion canine ;
- extrusion d'une racine ;
- fermeture d'un espace (Figure 12) ;
- les rotations ;
- mésialisation/ redressement d'une dent (Figures 13 et 15) ;
- expansion transversale ;
- modification du point d'application des forces (par diminution de la densité osseuse ; le centre de résistance devient plus coronaire et donc le mouvement se fait plus en gression) (Figure 14) ;
- diminue le risque de résorption radiculaire.

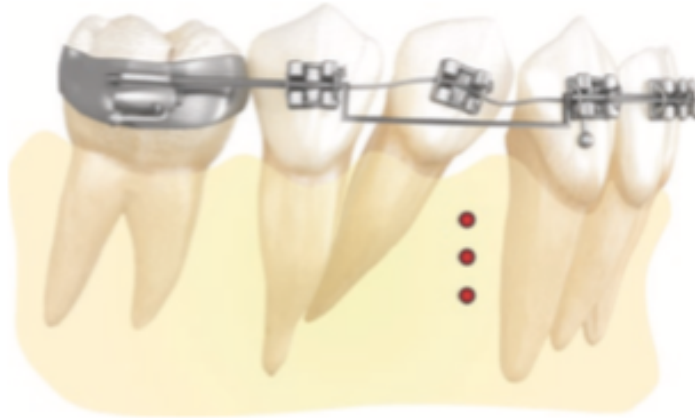


Figure 15 : Schéma montrant utilisation des MOPs pour redresser une dent (9)

2.2.2.3.3. Le point sur la littérature

Selon une étude de Alikhani *et al.* en 2013, évaluant l'effet des MOPs sur 20 patients présentant une classe II division I, les MOPs augmenteraient le taux de mouvement dentaire. Les patients ont été divisés en deux groupes ; un groupe témoin avec un appareillage fixe et un groupe expérimental avec l'utilisation des MOPs. Le traitement orthodontique comprenait les extractions des premières prémolaires maxillaires, les MOPs ont été réalisées lors de la rétraction canine. Les résultats montrent une accélération 2,3 fois plus rapide ($p < 0,05$) pour la rétraction canine dans le groupe expérimental par rapport au groupe témoin. La présence des médiateurs de l'inflammation (cytokines, interleukines) a été évaluée et est significativement plus élevée dans le groupe expérimental. Les patients n'ont pas signalé de douleur ou d'inconfort post-opératoire (29).

En 2018, Alkebsi *et al.* ont réalisé un essai clinique randomisé sur 32 patients dont le plan de traitement comprenait l'extraction des premières prémolaires maxillaires. Cet essai clinique a été réalisé selon le « split mouth design » : chaque patient recevait trois MOPs droites ou gauches en distal des canines, unilatéralement. Les résultats de l'étude ne montrent pas de différence significative quant au taux de distalisation canine ou de perte de l'ancrage postérieur (27).

Les conclusions de l'analyse de la littérature sont controversées ; des essais cliniques randomisés de forte puissance seraient nécessaires pour pouvoir conclure à l'efficacité des MOPs dans l'accélération du traitement orthodontique.

2.3. Les stimuli physiques

2.3.1. Le laser (LLLT Low-level laser therapy)

2.3.1.1. Le concept

L'utilisation du laser en orthodontie est récente. Elle consiste à utiliser la lumière à faibles niveaux d'énergie ou des diodes électroluminescentes afin de stimuler le remodelage osseux.

C'est une « lumniothérapie » utilisant un spectre lumineux allant du rouge à l'infrarouge (600-1000 nm) (Figure 16).

Le laser, utilisé à faible intensité, aurait un effet bio-stimulant sur l'os ; on l'appelle aussi la photobio-stimulation ou photobio-modulation.

Le laser est aussi étudié dans la recherche de diminution de la douleur causée par l'appareil orthodontique.

Des études in vitro ont montré les effets bio-stimulant sur des cultures cellulaires ; d'autres études chez le rat ont montré la stimulation du remodelage osseux (stimulation des ostéoblastes et ostéoclastes) lors d'expansion palatine au niveau de la suture médio-palatine et durant le déplacement dentaire (30) (31).

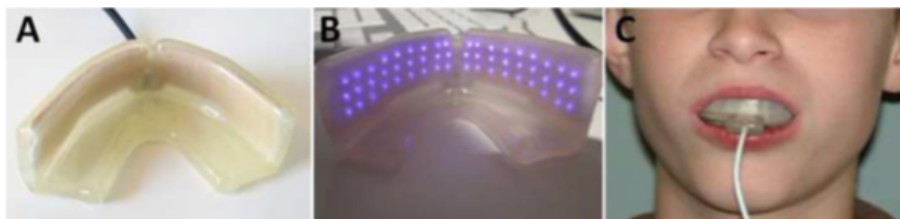


Figure 16 : OrthoPulseTM® (30)

2.3.1.2. Le point sur la littérature

Selon une revue de la littérature publiée en 2013 et rassemblant des articles entre 1959 et 2013, il a été mis en évidence que l'utilisation du laser à basse intensité (LLLT) avait un effet sur la régénération osseuse en particulier sur la prolifération des ostéoblastes et ostéoclastes. Le LLLT pourrait donc accélérer le mouvement dentaire en orthodontie.

Des études chez l'animal ont montré l'efficacité de l'utilisation du laser. Cependant, les résultats divergent quant à l'utilisation du LLLT chez l'homme.

Des études cliniques à plus forte puissance sont nécessaires pour pouvoir conclure sur l'effet accélérateur du mouvement dentaire du LLLT (32).

Selon une revue systématique de Long *et al.* en 2013 ayant pour objectif l'évaluation des systèmes accélérateurs de traitement, le LLLT n'accélérait pas le taux de mouvement dentaire (15).

En 2016, Shaughnessy *et al.* ont réalisé une étude clinique afin d'évaluer si l'utilisation du laser dans la correction d'un encombrement antérieur avec un appareil multi-attaches serait plus rapide qu'une technique conventionnelle. Dix neuf sujets ont été étudiés. Les patients ont été divisés en deux groupes : le groupe expérimental qui recevait un traitement orthodontique avec en complément l'utilisation de luminothérapie quotidienne à une longueur d'onde proche de la lumière infrarouge (850 nm) ce qui génère une énergie moyenne de 9,5 J / cm² (OrthoPulse™®, Biolux Research Ltd®.), l'autre groupe (groupe témoin) recevait un traitement multi-attaches sans technique accélératrice. Les résultats révèlent une diminution significative ($p \leq 0,05$) du temps de traitement grâce à la luminothérapie, l'alignement serait plus rapide de 54% par rapport à l'efficacité d'un appareil orthodontique seul.

Les auteurs font part des nombreux biais de cette étude ce qui suggère la nécessité de réaliser des recherches supplémentaires pour pouvoir conclure à une réelle efficacité clinique de la photobio-stimulation (33).

Les effets du LLLT sont controversés. Certaines études montrent l'effet anti-douleur du LLLT dans le traitement orthodontique par diminution du processus inflammatoire ; les taux de PGE₂, d'IL-1 et de TNF- α diminuent. Cependant c'est ce processus inflammatoire qui est à l'origine du mouvement dentaire. Si l'effet anti-inflammatoire (analgésique) du LLLT est montré, il serait

théoriquement associé à un ralentissement du mouvement dentaire. D'autre part, certaines études montrent une augmentation du taux de mouvement dentaire, et d'autres ne montrent aucun intérêt à l'utilisation du LLLT. Selon les auteurs, il est donc difficile d'indiquer l'utilisation de cette technique (10).

La littérature actuelle est insuffisante pour en tirer une conclusion sur l'effet accélérateur ou non du laser.

2.3.2. Les vibrations

2.3.2.1. Le concept

L'utilisation des vibrations en orthodontie a été évoquée pour la première fois par Mao *et al.* en 2003.

Il a utilisé les vibrations dans l'étude de la croissance crânio-faciale chez des animaux souffrant de malformations. Cette étude a montré des effets sur le métabolisme osseux en stimulant les ostéoblastes et ostéoclastes (34).

Les vibrations provoqueraient une stimulation de l'activité oestoclastique par une augmentation de la libération du ligand RANK_L. Le ligand RANK_L fait partie de la cascade de différenciation ostéoclastique en se liant au récepteur RANK sur les pré-ostéoclastes.

De nos jours les forces vibratoires sont de plus en plus utilisées par les praticiens afin d'accélérer le traitement et de diminuer la douleur causée par l'appareillage. Les vibrations sont appliquées de manière cyclique (quelques minutes par jour).

AcceleDent® est le système le plus commercialisé aujourd'hui. Ce dispositif se porte 20 minutes par jour, et produit des vibrations de faible amplitude et de haute fréquence (0,25 N à 30 Hz) (35).

2.3.2.2. Le point sur la littérature

Nishimura *et al.* ont réalisé une étude sur des rats en 2008, avec pour objectif d'observer le mouvement dentaire stimulé par vibrations. Deux groupes de 6 rats ont été évalués ; le groupe témoin avait en bouche un ressort d'ouverture pour le recul de la molaire maxillaire et le groupe expérimental recevait des vibrations à 60 Hz pendant 8 minutes aux jours 0, 7 et 14 en plus de l'activation du ressort. Au bout de 21 jours il a été réalisé des analyses sur les rats euthanasiés, relevant le taux du ligand RANK_L et le nombre d'ostéoclastes sur les deux groupes de rats, et l'évaluation de la quantité de mouvement dentaire. Le taux de mouvement dentaire dans le groupe expérimental était significativement plus importante ($p=0,05$) que dans le groupe témoin, aussi la quantité d'ostéoclastes et l'expression du ligand RANK_L étaient plus importantes dans le groupe expérimental. Aucun effet histologique néfaste n'a été rapporté. Cette étude expérimentale suggère que l'utilisation des vibrations permettrait d'accélérer le mouvement dentaire (36).

Une revue systématique a été publiée en 2017 par Jing *et al.*, visant à évaluer les données disponibles sur l'efficacité de l'utilisation des vibrations en orthodontie. Huit essais cliniques ont été inclus dans cette revue systématique. Quatre études ont montré que les vibrations n'augmentaient pas le taux de mouvement dentaire pendant la phase d'alignement. Deux études ont révélé que l'utilisation de vibrations accélérât la rétraction canine. Aucune étude n'a montré d'effets sur les racines ni sur la douleur durant le traitement. En conclusion de cette revue, les vibrations sembleraient accélérer la rétraction canine, mais n'aurait pas d'effet sur l'alignement dentaire ni sur la douleur. Ces études sont de faible niveau de preuve et ne permettent pas de tirer une conclusion définitive (37).

En 2018, Katchooi *et al.* ont réalisé un essai clinique ayant pour objectif d'étudier les effets des vibrations (avec le système AcceleDent®) sur un traitement orthodontique par gouttières (Invisalign®). Cet essai a été réalisé en aveugle dans 2 cabinets privés sur 27 patients adultes commençant leur traitement orthodontique. Les patients ont été divisés en 2 groupes. Le groupe A recevait un dispositif de vibrations et le groupe B un dispositif simulant les vibrations (placebo). Tous les patients changeaient de gouttières toutes les semaines. Les résultats se sont basés sur le fait de pouvoir porter l'ensemble du jeu de gouttières prévu initialement, ainsi que la mesure d'irrégularités incisives pour les patients ayant terminé le traitement. De plus, des questionnaires

évaluant le confort du dispositif et le niveau de douleur ont été remplis par les patients. Treize patients ont été analysés dans chaque groupe (1 sujet a interrompu le traitement). Les résultats n'ont montrés aucune différence significative entre les deux groupes sur le taux de mouvement dentaire et sur la douleur ressentie durant le traitement orthodontique. Cet article ne permet pas de conclure à une éventuelle efficacité des vibrations sur l'augmentation du taux de mouvement dentaire, ni sur la diminution de la douleur liée à l'appareillage orthodontique (38).

Des études cliniques supplémentaires sont nécessaires pour prouver l'efficacité ou non des vibrations sur l'augmentation du taux de mouvement dentaire.

2.3.3. Le champ électromagnétique pulsé

2.3.3.1. Le concept

Certaines recherches ont étudié l'efficacité de l'application d'un courant électrique continu sur le taux de déplacement dentaire.

Ces recherches s'inspirent de résultats obtenus en orthopédie chirurgicale dans la cicatrisation des fractures des os longs.

Cette technique consiste à utiliser un courant continu à l'anode aux sites de pression et à la cathode aux sites de tension (7 Volts), ce dispositif, placé au plus proche de la dent à déplacer, entrainerait une induction du remodelage osseux en stimulant des groupes d'enzymes (32) (Figure 17).



Figure 17 : Champ électromagnétique pulsé (38)

2.3.3.2. Le point sur la littérature

La littérature est peu fournie sur le sujet.

Cette technique a été testée le plus souvent sur le model animal, le dispositif étant encombrant et difficilement utilisable sur l'homme.

En 2010, Showkatbakhsh *et al.* ont réalisé une étude visant à évaluer l'efficacité de l'utilisation du champ électromagnétique pulsé sur le taux de déplacement dentaire.

Dix patients ont été affectés à l'étude, le traitement orthodontique consistait en l'extraction des premières prémolaires. Il été réalisé grâce à un appareil multi-attaches.

La rétraction canine été réalisé grâce à des ressorts. D'un coté la canine recevait un champ électromagnétique pulsé (grâce à un circuit avec une pile, le générateur était intégré dans un appareil amovible) censé accélérer le mouvement, de l'autre coté seul le ressort était présent.

Les résultats montrent une rétraction canine plus importante avec le dispositif en place ($p \leq 0,001$).

Cette étude suggère que l'application d'un champ électromagnétique pulsé accélère le mouvement dentaire (39).

Peu d'études concernent les effets du champ électromagnétique pulsé en orthodontie, probablement lié à l'inconfort de ce système.

2.4. Les stimuli chimiques

Nos connaissances sur le mécanisme du déplacement dentaire nous permettent d'établir le lien entre la résorption osseuse et le mouvement dentaire. La modification du taux de renouvellement osseux par voie systémique ou locale pourrait donc moduler la vitesse du déplacement dentaire.

2.4.1. Les stimuli systémiques

2.4.1.1. Hormone parathyroïdienne

La parathormone (PTH) est une hormone sécrétée par les glandes parathyroïdes. La PTH est la principale hormone régulant le renouvellement osseux et l'homéostasie calcique.

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

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

L'administration de la PTH peut se faire de manière systémique ou locale (tous les deux jours). Le taux de déplacement dentaire serait proportionnel au taux de PTH.

En effet la PTH modifie la densité osseuse, donc elle augmenterait le déplacement dentaire (cette augmentation est dose dépendante) (10) (14).

2.4.1.2. Analyse de la littérature

Selon une étude clinique réalisée en 2013 par Li *et al* l'administration systémique de PTH accélérerait le mouvement dentaire. Le but de l'étude était d'analyser l'effet de l'injection de la parathyroïde sur le mouvement dentaire chez les rats. Soixante rats ont été inclus et divisés en 2 groupes ; les premières molaires maxillaires droites doivent être mésialer grâce à un ressort fermé en nickel-titane. Le groupe expérimental a reçu des injections de PTH (4mg pour 100g de poids par jour) pendant 12 jours, et le groupe témoin a reçu des injections placebo. Les résultats ont montré que le taux de mouvement dentaire était significativement augmenté ainsi que le taux d'ostéoclastes et l'expression de l'activateur du récepteur Kappa B (RANK_L) dans le groupe expérimental (40).

La littérature se compose d'études réalisées sur l'animal, les résultats de ces études sont difficilement transposables chez l'homme. Des essais cliniques randomisés sur les patients sont nécessaires.

2.4.1.3. La vitamine D3

La vitamine D3 (la 25-dihydroxyvitamine) est impliquée dans l'homéostasie du calcium et du phosphate. Elle régule leur absorption intestinale.

A dose physiologique elle inhibe la libération de la PTH. La vitamine D3 participe donc à la sécrétion de la matrice osseuse.

Sur la base des mécanismes évoqués précédemment, on pourrait s'attendre à ce que la vitamine D3 diminue le taux de mouvement dentaire.

Au contraire, il a été montré que la vitamine D3 pouvait augmenter le taux de mouvement dentaire si elle était injectée localement. Cet effet est lié au fait que la vitamine D3 entraîne l'augmentation de l'expression de RANK_L par les cellules locales, ce qui déclenche l'activation des ostéoclastes (41).

En effet selon Suda *et al.*, des doses supraphysiologiques de vitamine D3 augmentent le calcium sérique et l'expression de RANK_L in vivo en présence de PTH. Ces résultats suggèrent que l'activité de résorption osseuse de la vitamine D3 ne se produit pas à des doses physiologiques in vivo (42).

2.4.1.3.1. Analyse de littérature

En 1988, Collins et Sinclair ont démontré que des injections intra-ligamentaires de vitamine D3, entraînaient une augmentation du nombre d'ostéoclastes et du mouvement des dents lors de la rétraction canine avec des forces légères. Cette étude a été menée chez le chat durant 21 jours. Les canines ayant reçu de façon hebdomadaire une dose de vitamine D3 ont obtenu un recul 60% plus important que les canines du groupes contrôle ($p < 0,05$) (43).

En 2004, une étude publiée par Kawakami *et al.* met en évidence l'effet accélérateur de mouvement dentaire de la vitamine D3 sur le rat (44).

En 2014, Camacho réalise une revue de littérature sur l'accélération du mouvement dentaire ; le niveau de preuve le plus important concernant les articles évaluant l'effet de la vitamine D3 est celui de Blanco *et al.* dont l'étude avait pour objectif de déterminer si une dose supplémentaire de vitamine D3 (0,25 µg) pouvait accélérer le mouvement dentaire orthodontique sur une période de 60 jours. Cet essai clinique a été mené sur 20 patients, 10 patients recevaient une dose journalière de vitamine D3 (0,25 µg) les 10 autres patients faisaient partis du groupe contrôle. Au bout de 60 jours de rétraction canine dans les deux groupes (avec une force de 75g pour chaque groupe), les auteurs ont montré un recul canin plus important pour le groupe avec injection par rapport au groupe témoin ($p \leq 0,05$). Selon cette étude le mouvement dentaire est plus rapide grâce à l'injection locale de vitamine D3 (2).

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

vitamine D3 en plus du traitement conventionnel. Les résultats ont montré des mouvements dentaires plus importants de 70% du groupe expérimental par rapport au groupe témoin ($p \leq 0,05$). L'injection intraligamentaire de vitamine D3 semble augmenter le taux de mouvement dentaire et ne provoquer aucun effet sur les racines (41).

L'injection locale de vitamine D3 serait un bon moyen d'augmenter le taux de mouvement dentaire (en particulier pour la rétraction canine) selon ces études. Cependant, elles ont un faible niveau de preuve. Des études supplémentaires seraient utiles afin de projeter cette application à la pratique clinique.

D'autres molécules à action locale sont source d'interrogation de la part de la communauté scientifique quant à leur action sur le déplacement dentaire. La thyroxine (hormone thyroïdienne) serait susceptible d'augmenter le taux de mouvement dentaire. Elle module l'absorption intestinale du calcium, et est donc indirectement impliquée dans le remodelage osseux.

Certains médicaments comme les biphosphonates ralentiraient le déplacement dentaire par leurs effets cytotoxiques et anti-angiogéniques. Certaines études ont montré un ralentissement du traitement orthodontique, des fermetures incomplètes des espaces et des zones sclérotiques persistantes chez des patients traités par biphosphonates. D'autres études ont évoqué un intérêt orthodontique pour l'ancrage.

La calcitonine et les œstrogènes seraient eux aussi responsables d'une diminution du taux de mouvement dentaire, par inhibition de la résorption osseuse. La calcitonine diminue l'absorption intestinale du calcium, et inhibe la stimulation des ostéoclastes.

Certaines études montrent que la supplémentation en œstrogènes ralentirait le taux de mouvement dentaire, une étude aurait montré que l'ovariectomie augmenterait le mouvement dentaire. Mais la documentation n'est pas assez fournie pour pouvoir en tirer des conclusions et des applications cliniques concrètes (45).

2.4.2. Les stimuli locaux

2.4.2.1. Les prostaglandines

Les prostaglandines sont des molécules produites par les ostéoblastes en réponse à la sécrétion de prostaglandines G/H synthases (PGHS) ou de cyclo-oxygénases.

Certaines prostaglandines ont un effet stimulateur du remodelage osseux en augmentant le nombre d'ostéoclastes locaux. Il s'agit des prostaglandines E1, E2, A1 et F2-alpha.

La PGE2 est la prostaglandine principale, elle favorise la différenciation des ostéoblastes et donc la formation osseuse. Ces effets varient en fonction de la dose et du mode d'administration (46).

2.4.2.1.1. Analyse de la littérature

Une étude clinique menée en 2007 avait pour but de démontrer l'effet accélérateur du mouvement dentaire et sur la formation osseuse, de la stimulation du récepteur de la prostaglandine EP4 sur les rats. L'échantillon était composé de 25 rats ; les déplacements des molaires ont été analysés. Une dose d'agoniste spécifique du ligand du récepteur de la prostaglandine EP4 (ONO-AE1-329) a été administrée dans le groupe expérimental, le groupe témoin recevait un placebo. Le mouvement dentaire a été évalué par des radiographies. Les résultats montrent une augmentation du déplacement des molaires et de la quantité osseuse dans le groupe expérimental ($p=0,05$). En conclusion; cette étude montre qu'une injection d'un agoniste du ligand du récepteur de la prostaglandine EP4 permettrait d'accélérer le mouvement dentaire et d'obtenir une quantité osseuse plus importante (47).

Selon une méta-analyse menée en 2014, le niveau de preuve le plus élevé correspond au niveau 3B de 3 publications (48) :

La première, de Yamasaki *et al*, a pour objectif de démontrer l'effet de l'injection locale de la prostaglandine E1 (PGE1) en 3 phases. La première phase consistait en une fermeture d'espace d'extraction de prémolaires, l'étude a été réalisée en split mouth design, un secteur recevait une injection sous-muqueuse de PGE1 et le secteur opposé, une injection locale d'une substance véhiculaire. La

vitesse de déplacement des dents était 2 fois supérieure par rapport au secteur sans injection de PGE1. Les mêmes résultats ont été obtenus dans des cas de rétraction canine; pour la deuxième phase les deux secteurs recevaient l'injection de PGE1 et pour la troisième phase ; seul un secteur recevait l'injection et l'autre était le témoin; la rétraction canine était 1,6 fois plus rapide comparativement au secteur sans injection. Enfin, aucun effet indésirable n'a été relevé sur les tissus muqueux et osseux lié à l'injection.

Un deuxième essai clinique réalisé par Spielmann *et al* cité par A. Dominguez Camacho, a été réalisé chez 5 patients. L'objectif de l'étude était d'évaluer l'effet de la PGE1 sur le mouvement des dents. Une dose hebdomadaire de solution de PGE1 à 0,01% était injectée en sous muqueux en palatin de la dent concernée et une dose de solution saline était injectée de la même façon sur la dent controlatérale. Les dents expérimentales se sont déplacées 3 fois plus vite que les dents témoins, sans effet pathologique.

La troisième étude réalisée par Patil *et al* en 2005 portait sur 14 patients, une injection de 1g de PGE1 a été réalisée tous les jours pendant 3 jours (3g au total) en distal des canines à rétracter avec des ressorts NiTi. Le coté droit était le coté expérimental et le coté gauche; le témoin. Les auteurs en ont conclu une augmentation du taux de mouvement évidente par rapport aux dents témoins, au bout de 60 jours.

En conclusion, nous pouvons supposer que l'injection locale de la prostaglandine PGE1 est efficace dans l'augmentation du taux de mouvement dentaire et notamment dans le recul canin.

Cependant, le design peu pertinent de ces études ne nous permet pas d'utiliser ces conclusions pour une éventuelle application clinique.

2.4.2.2. Le ligand RANK_L

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

RANK_L joue un rôle important dans la différenciation ostéoclastique, donc dans le remodelage osseux. Il est le ligand du récepteur RANK qui est situé sur les ostéocytes (les précurseurs des ostéoclastes). Il fait partie de la voie de signalisation RANK/RANK_L/OPG.

La liaison de RANK_L à RANK stimule la génération des ostéoclastes et par conséquent la résorption osseuse qui permet le mouvement dentaire. L'ostéoprotégérine (OPG) est un récepteur leurre soluble de RANK_L, en se liant à RANK_L il inhibe l'action résultant de la liaison RANK_L/RANK, supprimant ainsi la différenciation ostéoclastique.

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

Une étude clinique récente menée par Kawasaki *et al*, ayant pour objectif de comparer le niveau d'activation des récepteurs des ligands RANK_L et de l'ostéoprotégérine en prélevant le fluide gingival après activation orthodontique, en fonction de l'âge des patients. Les résultats montrent un rapport RANK_L/OPG plus important chez le jeune patient du côté en compression que chez le patient adulte; donc un mouvement dentaire diminué chez le patient adulte et augmenté chez le patient plus jeune.

Cette étude met en évidence les bases fondamentales évoquées en première partie concernant les mécanismes cellulaires en jeu lors du mouvement dentaire. Ces résultats soulèvent une interrogation quant à l'injection locale de RANK_L chez le patient adulte afin d'augmenter le taux de mouvement dentaire. Cependant d'autres études cliniques sont nécessaires afin d'en tirer une conclusion (49).

2.4.2.3. Injection de relaxine

La relaxine est une hormone peptidique qui régit de nombreuses actions biologiques, notamment les effets anti-fibrotiques, vasodilatateurs, angiogéniques, anti-inflammatoires, anti-apoptotiques et protecteurs d'organes sur divers tissus (50).

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

Récemment, l'hormone relaxine a été utilisée chez le rat pour augmenter le taux de mouvement des dents. La relaxine est capable de réduire le niveau d'organisation des tissus de connexion, facilitant ainsi la séparation rapide des os adjacents.

Cependant, aucune augmentation significative du taux de mouvement des dents n'a été observée dans ces études (10).

Elle stimule le métabolisme osseux en induisant l'ostéoclastogénèse par l'activation du facteur nucléaire kappa B (RANK_L) activant le récepteur RANK (51).

2.4.2.4. Analyse de la littérature

Une première étude réalisée en 2007, avait pour but d'évaluer l'effet de la relaxine sur le mouvement orthodontique et sur le ligament parodontal chez les rats. L'étude a été menée sur 96 rats qui recevaient un appareil orthodontique visant à rétracter des molaires maxillaires. Deux groupes ont été constitués aléatoirement ; l'un recevait une injection de relaxine et l'autre une injection d'un placebo. Les résultats ont été évalués grâce à des analyses céphalométriques avec pour repère les implants palatins. Ceux-ci ne montrent pas de différence significative quant à l'accélération du mouvement dentaire dans le groupe ayant reçu l'injection de la relaxine. Cependant la relaxine a montré une diminution de la résistance mécanique du ligament parodontal et donc augmenterait la mobilité des dents (52).

Une étude réalisée en 2011 avait pour but de déterminer les effets de la relaxine sur la récurrence du traitement orthodontique et sur le remodelage du tissu parodontal. L'étude a été réalisée chez des rats qui ont reçu un appareil orthodontique destiné à mobiliser les molaires avec une force de 10g. Une injection de relaxine était réalisée au quatorzième jour à une dose de 500 ng/mL pendant une semaine. Les résultats ont été évalués par tomographie et immunofluorescence. La rechute dans le groupe recevant de la relaxine était significativement réduite en comparaison au groupe témoin, aussi grâce à l'immunofluorescence la relaxine a été montrée présente dans le logement parodontale ce qui prouverait son effet modulateur du métabolisme collagénique. La relaxine pourrait donc être un bon outil pour prévenir la rechute après traitement orthodontique (53).

Un essai clinique réalisé en 2012 avait pour objectif d'évaluer l'effet de la relaxine sur les mouvements dentaires et sur la stabilité à court terme grâce à son effet sur le ligament parodontal. Quarante sujets ont été randomisés et ont reçu aléatoirement soit une injection de 50mg de relaxine soit d'un placebo,

pendant 8 semaines. Le traitement était réalisé par des aligneurs dans le but de mobiliser une dent sur 2mm. Les résultats ont été évalués sur des empreintes numérisées à la douzième semaine. Les résultats n'ont pas montré de différence significative quant à l'accélération du mouvement dentaire dans le groupe avec injection de relaxine, de même l'étude n'a pas montré de différence quant à la rechute du traitement 4 semaines après arrêt de celui-ci (54).

Etudier les effets de la relaxine sur le mouvement dentaire semble être intéressant. La plupart des études ont été réalisées chez l'animal, des études cliniques chez l'homme sont nécessaires pour nous apporter des réponses plus précises.

L'application locale de stimuli chimiques pour accélérer le mouvement dentaire orthodontique soulève certaines interrogations. Premièrement ; tous ces facteurs chimiques ont une répercussion systémique lors de l'injection, ce qui remet en question la sécurité de ces protocoles. Ensuite ; les produits chimiques évoqués ont une demi-vie courte, par conséquent, de multiples injections de ces stimuli seraient nécessaires, ce qui n'est pas pratique en orthodontie clinique, et ceci augmenterait le coût du traitement. L'injection de ces stimuli se fait en un point ; mais l'action de celui-ci doit être uniformément répartie le long de la racine du côté en compression. L'éventuelle inégalité de la répartition du produit pourrait changer la biomécanique du déplacement des dents.

CONCLUSION

Ce travail met en évidence l'importance accordée à l'intérêt de la communauté orthodontique à réduire le temps de traitement.

Cet intérêt naît de la volonté de l'orthodontiste d'éviter au plus possible les effets indésirables du traitement orthodontique (atteinte du parodonte profond et superficiel/ lésions carieuses/ résorptions radiculaires) et de répondre à la demande esthétique des patients (notamment les patients adultes).

De nos jours, les techniques de microchirurgie sont les plus démocratisées. Elle sont basées sur le principe du phénomène d'accélération régionale (le PAR).

La corticotomie alvéolaire a fait ses preuves en terme d'accélération du traitement orthodontique ; elle offre une fenêtre de 2 mois à partir de sa réalisation pour accélérer le traitement. Cette technique est cependant invasive,

le temps opératoire et les suites opératoires sont lourds. La piézocision, permet de palier cet inconvénient. La piézocision est réalisée sans levée de lambeau, les incisions osseuses se font directement au travers de la gencive. L'inconvénient de cette technique est la présence de cicatrices gingivales post-opératoires.

Les techniques de chirurgie restent un acte invasif, surtout si elles doivent être répétées durant le traitement.

La tendance actuelle est à la recherche de techniques accélératrices moins invasives ; en effet, cela répondrait à la demande des patients et des praticiens en terme de confort de traitement. Les techniques chimiques et physiques répondent à cette demande.

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

Les techniques physiques comme le laser à faible intensité et l'utilisation des vibrations, sont très largement utilisées en pratique clinique, pourtant les études cliniques divergent quant aux résultats concernant leur impact sur le mouvement dentaire. L'utilisation de ces produits par les praticiens est sûrement liée à une grande commercialisation de ceux-ci par les laboratoires.

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

Des recherches supplémentaires sont nécessaires afin d'apporter des réponses précises pour aboutir à des applications cliniques.

Nous notons que les études sont peu nombreuses en France. En effet le traitement orthodontique chez les patients de moins de 16 ans est décompté au semestre. Les règlements se font alors tous les semestres ; plus le traitement est long, plus il est lucratif pour le praticien. Cette notion économique est-elle la raison du manque d'études concernant le sujet ?

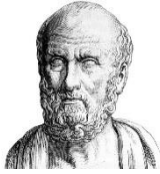
1. Tsichlaki A, Chin SY, Pandis N, Fleming PS. How long does treatment with fixed orthodontic appliances last? A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149(3):308-18.
2. Mavreas D, Athanasiou AE. Factors affecting the duration of orthodontic treatment: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2008;30(4):386-95.
3. Yi J, Xiao J, Li H, Li Y, Li X, Zhao Z. Effectiveness of adjunctive interventions for accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review of systematic reviews. *J Oral Rehabil.* 2017;44(8):636-54.
4. Le Gall M, Sastre J. The fundamentals of tooth movement. *Int Orthod.* 2010;8(1):1-13.
5. 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.
6. Isola G, Matarese G, Cordasco G, Perillo L, Ramaglia L. Mechanobiology of the tooth movement during the orthodontic treatment: a literature review. *Minerva Stomatol.* 2016;65(5):299-327.
7. Shah A. Surgical Approaches to Accelerate Orthodontic Tooth Movement. *IJARnD.* 2017;Volume 2, Issue 1.
8. Viwattanatipa N, Charnchairerk S. The effectiveness of corticotomy and piezocision on canine retraction: A systematic review. *Korean J Orthod.* 2018;48(3):200-11.
9. Kisnisci RS, Iseri H. Dentoalveolar transport osteodistraction and canine distalization. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011;69(3):763-70.
10. Alikhani M. *Clinical Guide to Accelerated Orthodontics.* Springer International Publishing. 2017.
11. Sebaoun JD, Surmenian J, Dibart S. Accelerated orthodontic treatment with piezocision: a mini-invasive alternative to conventional corticotomies. *Orthod Fr.* 2011;82(4):311-9.
12. Park YG. Corticision: A Flapless Procedure to Accelerate Tooth Movement. *Front Oral Biol.* 2016;18:109-17.
13. Wilcko WM, Wilcko T, Bouquot JE, Ferguson DJ. Rapid orthodontics with alveolar reshaping: two case reports of decrowding. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2001;21(1):9-19.
14. Strippoli J, Aknin JJ. [Accelerated tooth movement by alveolar corticotomy or piezocision]. *Orthod Fr.* 2012;83(2):155-64.

15. Long H, Pyakurel U, Wang Y, Liao L, Zhou Y, Lai W. Interventions for accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod.* 2013;83(1):164-71.
16. Gil APS, Haas OL, Jr., Mendez-Manjon I, Masia-Gridilla J, Valls-Ontanon A, Hernandez-Alfaro F, et al. Alveolar corticotomies for accelerated orthodontics: A systematic review. *J Craniomaxillofac Surg.* 2018;46(3):438-45.
17. Librizzi Z, Kalajzic Z, Camacho D, Yadav S, Nanda R, Uribe F. Comparison of the effects of three surgical techniques on the rate of orthodontic tooth movement in a rat model. *Angle Orthod.* 2017;87(5):717-24.
18. Kurt G, Iseri H, Kisnisci R, Ozkaynak O. Rate of tooth movement and dentoskeletal effects of rapid canine retraction by dentoalveolar distraction osteogenesis: A prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;152(2):204-13.
19. Sukurica Y, Karaman A, Gurel HG, Dolanmaz D. Rapid canine distalization through segmental alveolar distraction osteogenesis. *Angle Orthod.* 2007;77(2):226-36.
20. Buyuk SK, Yavuz MC, Genc E, Sunar O. A novel method to accelerate orthodontic tooth movement. *Saudi Med J.* 2018;39(2):203-8.
21. Charavet C, Lecloux G, Bruwier A, Rompen E, Maes N, Limme M, et al. Localized Piezoelectric Alveolar Decortication for Orthodontic Treatment in Adults: A Randomized Controlled Trial. *J Dent Res.* 2016;95(9):1003-9.
22. Gibreal O, Hajeer MY, Brad B. Efficacy of piezocision-based flapless corticotomy in the orthodontic correction of severely crowded lower anterior teeth: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod.* 2019;41(2):188-95.
23. Charavet C, Lecloux G, Jackers N, Albert A, Lambert F. Piezocision-assisted orthodontic treatment using CAD/CAM customized orthodontic appliances: a randomized controlled trial in adults. *Eur J Orthod.* 2019.
24. Germec D, Giray B, Kocadereli I, Enacar A. Lower incisor retraction with a modified corticotomy. *Angle Orthod.* 2006;76(5):882-90.
25. Kim SJ, Park YG, Kang SG. Effects of Corticision on paradental remodeling in orthodontic tooth movement. *Angle Orthod.* 2009;79(2):284-91.
26. Uribe F, Davoody L, Mehr R, Jayaratne YSN, Almas K, Sobue T, et al. Efficiency of piezotome-corticision assisted orthodontics in alleviating mandibular anterior crowding-a randomized clinical trial. *Eur J Orthod.* 2017;39(6):595-600.
27. Alkebsi A, Al-Maaitah E, Al-Shorman H, Abu Alhajja E. Three-dimensional assessment of the effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement during canine retraction in adults with Class II malocclusion: A randomized controlled clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018;153(6):771-85.

28. Nicozicis J. Accelerated orthodontics through micro-osteoperforation. *Orthodontic Practice*.4(3).
29. Alikhani M, Raptis M, Zoldan B, Sangsuwon C, Lee YB, Alyami B, et al. Effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2013;144(5):639-48.
30. Alazzawi MMJ, Husein A, Alam MK, Hassan R, Shaari R, Azlina A, et al. Effect of low level laser and low intensity pulsed ultrasound therapy on bone remodeling during orthodontic tooth movement in rats. *Prog Orthod*. 2018;19(1): 10.
31. Yoshida T, Yamaguchi M, Utsunomiya T, Kato M, Arai Y, Kaneda T, et al. Low-energy laser irradiation accelerates the velocity of tooth movement via stimulation of the alveolar bone remodeling. *Orthod Craniofac Res*. 2009;12(4): 289-98.
32. Nimeri G, Kau CH, Abou-Kheir NS, Corona R. Acceleration of tooth movement during orthodontic treatment--a frontier in orthodontics. *Prog Orthod*. 2013;14:42.
33. Shaughnessy T, Kantarci A, Kau CH, Skrenes D, Skrenes S, Ma D. Intraoral photobiomodulation-induced orthodontic tooth alignment: a preliminary study. *BMC Oral Health*. 2016;16:3.
34. Kopher RA, Mao JJ. Suture growth modulated by the oscillatory component of micromechanical strain. *J Bone Miner Res*. 2003;18(3):521-8.
35. Godeneche J. Accelérer les traitements orthodontiques. *Dentoscope*. 2018;189.
36. Nishimura M, Chiba M, Ohashi T, Sato M, Shimizu Y, Igarashi K, 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.
37. Jing D, Xiao J, Li X, Li Y, Zhao Z. The effectiveness of vibrational stimulus to accelerate orthodontic tooth movement: a systematic review. *BMC Oral Health*. 2017;17(1):143.
38. Katchooi M, Cohanım B, Tai S, Bayirli B, Spiekerman C, Huang G. Effect of supplemental vibration on orthodontic treatment with aligners: A randomized trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018;153(3):336-46.
39. Showkatbakhsh R, Jamilian A, Showkatbakhsh M. The effect of pulsed electromagnetic fields on the acceleration of tooth movement. *World J Orthod*. 2010;11(4):e52-6.
40. Li F, Li G, Hu H, Liu R, Chen J, Zou S. Effect of parathyroid hormone on experimental tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2013;144(4):523-32.

41. Iosub Ciur MD, Zetu IN, Haba D, Viennot S, Bourgeois D, Andrian S. Evaluation of the Influence of Local Administration of Vitamin D on the Rate of Orthodontic Tooth Movement. *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi*. 2016;120(3): 694-99.
42. Suda T, Ueno Y, Fujii K, Shinki T. Vitamin D and bone. *J Cell Biochem*. 2003;88(2):259-66.
43. 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.
44. 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.
45. Shroff B. *Biology of Orthodontic Tooth Movement*. Springer International Publishing. 2016.
46. Tanki ZJ, Naqash AT, Singh R, Gupta A, Jangral S, Jamwal A. Influence of Drugs on orthodontic tooth movement: A review. *International Journal of Contemporary Dentistry*. 2013;4(1).
47. Chung CJ, Baik HS, Soma K. Bone formation and tooth movement are synergistically enhanced by administration of EP4 agonist. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;132(4):427 e13-20.
48. Camacho AD, Velasquez Cujar SA. Dental movement acceleration: Literature review by an alternative scientific evidence method. *World J Methodol*. 2014;4(3):151-62.
49. Kawasaki K, Takahashi T, Yamaguchi M, Kasai K. Effects of aging on RANKL and OPG levels in gingival crevicular fluid during orthodontic tooth movement. *Orthod Craniofac Res*. 2006;9(3):137-42.
50. Valkovic AL, Bathgate RA, Samuel CS, Kocan M. Understanding relaxin signalling at the cellular level. *Mol Cell Endocrinol*. 2019;487:24-33.
51. Duarte C, Kobayashi Y, Morita J, Kawamoto T, Moriyama K. A preliminary investigation of the effect of relaxin on bone remodelling in suture expansion. *Eur J Orthod*. 2017;39(3):227-34.
52. Madan MS, Liu ZJ, Gu GM, King GJ. Effects of human relaxin on orthodontic tooth movement and periodontal ligaments in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;131(1):8 e1-10.
53. Hirate Y, Yamaguchi M, Kasai K. Effects of relaxin on relapse and periodontal tissue remodeling after experimental tooth movement in rats. *Connect Tissue Res*. 2012;53(3):207-19.
54. McGorray SP, Dolce C, Kramer S, Stewart D, Wheeler TT. A randomized, placebo-controlled clinical trial on the effects of recombinant human relaxin on

tooth movement and short-term stability. Am J Orthod Dentofacial Orthop.
2012;141(2):196-203.



SERMENT MEDICAL

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Que je sois déshonoré et méprisé de mes confrères si j'y manque.

NEVESNY Caroline : Le traitement orthodontique : peut-on réellement l'accélérer ?

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix –Marseille Université : 2019

Rubrique de classement : Orthodontie

Résumé :

Après avoir détaillé les mécanismes cellulaires intervenant dans le déplacement dentaire, ce travail va passer en revue les différentes interventions actuelles accélératrices de traitement orthodontique. Le désir des orthodontistes d'accélérer le traitement naît de leur volonté d'éviter les effets indésirables, de répondre à la demande des patients de bénéficier d'un traitement le plus court possible sans concession sur la qualité de celui-ci. Il existe différents types de techniques accélératrices : la micro-chirurgie, l'injection de *stimuli* chimiques, et les interventions physiques.

Les essais cliniques randomisés et les méta-analyses sont nombreux concernant les techniques de micro-chirurgie. La micro-chirurgie est la technique accélératrice la plus utilisée, notamment la piezocision, elle diminue le temps de traitement lors des phases d'alignement.

L'utilisation de *stimuli* chimiques correspond à l'injection locale ou générale de molécules ou hormones ayant un rôle dans le métabolisme osseux, comme la vitamine D3, l'hormone parathyroïde ou l'injection du ligand RANK_L. Nos connaissances de plus en plus précises sur les phénomènes moléculaires lors du déplacement dentaire permettent une recherche plus élargie sur le sujet.

Les interventions physiques, comme l'utilisation des vibrations et de la lumière pulsée, sont largement commercialisées par les laboratoires revendiquant leur effet accélérateur et aussi antalgique.

Pour ces deux dernières techniques accélératrices les études sont peu nombreuses, de faible puissance et avec un design peu convaincant ce qui nous empêche de conclure sur leur effet accélérateur. Des essais contrôlés randomisés sont nécessaires.

Mots clés : Traitement orthodontique ; Mouvement dentaire ; Accélération

NEVESNY Caroline – Orthodontic treatment : can we accelerate it ?

Abstract:

After describing the cellular mechanism involved in tooth movement, this work will review the treatments that can accelerate the orthodontic treatment. The desire for shorter orthodontic treatment comes from the will for orthodontists to avoid side effects and to match patient demands for the shortest treatment, without compromising its quality. Several technics will be described: micro surgery, injection of chemical stimulants, and physical intervention.

Randomized clinical trials and meta-analysis are numerous about micro surgery. This technic is the most used, piezocision in particular, and it was proven that it accelerate tooth movement during the alignment phase.

Chemical stimulants are molecules or hormones that have a role in bone metabolism, and are injected locally or IV. D3 vitamin, parathyroid hormone and RANK_L are examples of these chemical stimulants. Our knowledge about molecular phenomena involved in tooth movement are getting more precise, leading to more research on the subject.

Physical interventions, such as vibrations and pulsed light, are widely commercialized by pharmaceutical companies, claiming its accelerating and pain-killing effect.

For those two last technics, the lack of studies and the weakness in their design forbids us to conclude on their accelerating effect. Randomized clinical trials are necessary to do so.

MeSH: Orthodontic movement; Dental movement acceleration; Accelerate

Adresse de l'auteur :

241 rue Laurent Chabry
34090 MONTPELLIER