

Université de Montréal

**Evaluation de la chirurgie parodontale piézoélectrique sur le
traitement orthodontique : étude pilote prospective**

par
Julien Strippoli

Section d'orthodontie
Faculté de médecine dentaire

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise ès Sciences (M.Sc.)

en médecine dentaire

option orthodontie

Mai 2017

© Julien Strippoli, 2017

Résumé

OBJECTIFS : Les objectifs de l'étude étaient : (1) de comparer la durée des traitements d'orthodontie assistés par la piézo-corticision (TO-PC) et les traitements d'orthodontie conventionnels (TOC), (2) de déterminer la douleur et l'impact sur les activités quotidiennes des TO-PC, (3) d'analyser les modifications des tissus calcifiés provoquées par TO-PC, (4) d'évaluer le processus inflammatoire, et (5) d'évaluer la satisfaction des patients vis-à-vis les TO-PC. **METHODOLOGIE** : Douze patients adultes (moyenne de l'indice de difficulté (DI)= 16) ont eu un TO-PC. Le groupe contrôle a été constitué de manière rétrospective avec les mêmes critères de sélection. Il était composé de douze patients (moyenne DI=9). Pour évaluer la douleur et l'impact sur les activités quotidiennes, un questionnaire utilisant une échelle visuelle numérique (VAS) a été utilisé pendant la première semaine post-chirurgie. Pour évaluer la satisfaction, un questionnaire a été remis au patient en fin de traitement. Les résorptions radiculaires et les changements au niveau de la hauteur et de l'épaisseur de l'os alvéolaire ont été mesurés à l'aide d'un TVFC pré- et post-traitement. L'évaluation du processus inflammatoire a été faite en quantifiant dans le fluide gingival les interleukines 1, 2, 6, 8, 10, le facteur de nécrose tumorale α , l'interferon γ , le facteur de croissance des granulocytes et macrophages, le ligand au récepteur activateur nucléaire Kappa B, l'ostéoprotégérine et la protéine inflammatoire des macrophages à 6 temps durant 6 mois. **RESULTATS** : Le groupe expérimental et le groupe contrôle étaient comparables sauf pour l'âge, le DI et le nombre de boitier décollé. Le temps de traitement a été significativement réduit dans le groupe TO-PC comparé au TOC pour la phase d'alignement du maxillaire (43%, $p=0,002$) et de la mandibule (28%, $p=0,041$), ainsi que pour la durée totale du traitement (53%, $p<0,0001$). La douleur médiane était faible (EVN=1/10) et temporaire (<5 jours) avec une consommation moyenne totale d'acétaminophène de 3,5g (1-8,5) durant la première semaine post-chirurgie. La mastication a été la fonction la plus affectée par le TO-PC et elle a le plus impacté la vie quotidienne. Après une semaine, 92,3% des patients auraient refait la chirurgie. À la fin du traitement, tous les patients ont été satisfaits par TO-PC. Les résorptions radiculaires étaient généralisées. En moyenne, elles étaient minimales en postérieure (<0,5mm et <grade 1 de Levander et Malmgren) et moins que modérées en antérieure (<1mm et < grade 2 de Levander et Malmgren). Les TO-PC ont provoqué une déhiscence osseuse buccale moyenne de l'os alvéolaire au niveau des incisives inférieures de 3,3mm. L'épaisseur de l'os alvéolaire n'a pas varié de façon significative, sauf au niveau des incisives supérieures où elle a diminué d'environ 1mm. Une seule lésion iatrogénique de racine a été détectée et 4 incisives de la corticale ne se sont pas complètement reminéralisées. Plusieurs médiateurs de l'inflammation ont démontré deux pics à 3 et 16 semaines, mais ces variations n'étaient pas significatives. **CONCLUSION** : Les TO-PC étaient sécuritaires et efficaces pour réduire la durée des traitements d'orthodontie avec un niveau de satisfaction des patients élevé. Les lésions iatrogéniques sur les racines et le volume osseux étaient marginales, sauf en regard de la plaque corticale buccale des incisives inférieures où des déhiscences osseuses ont été observées.

Mots-clés : Piézo-corticision, Piézocision™, orthodontie accélérée, douleur, résorption radiculaire, os alvéolaire

Abstract

OBJECTIVES: The aims of the study were to: (1) compare the duration of piezo-corticision assisted orthodontic treatments (OT-PC) with conventional orthodontic treatments (COT), (2) assess pain and the interference with daily activities of patients undergoing OT-PC, (3) analyzing calcified tissue changes induced by OT-PC, (4) evaluating the inflammatory process, and (5) examining patient satisfaction on OT-PC. **METHODOLOGY:** Twelve adult patients (mean discrepancy index (DI) = 16) underwent OT-PC. The control group was selected retrospectively and was composed of twelve patients (mean DI = 9) with the same selection criteria. For pain and impact on daily activities assessments, a questionnaire using a visual digital scale (VAS) was used during the first week post-surgery. To assess satisfaction, a questionnaire was given to the patient at the end of treatment. Root resorptions and changes in height and thickness of the alveolar bone were measured using pre- and post-treatment CBCT. The evaluation of the inflammatory process was made by quantifying the gingival fluid interleukins 1, 2, 6, 8, 10, tumor necrosis factor α , interferon γ , granulocyte and macrophage growth factor, activator receptor ligand Nuclear Kappa B, osteoprotegerin and macrophage inflammatory protein at 6 different time points for 6 months. **RESULTS:** The experimental group and the control group were comparable except for age, DI and bonded failure. The treatment time was significantly reduced in the OT-PC group compared to the COT for primary brackets alignment on the maxilla (43%, $p = 0.002$) and the mandible (28%, $p = 0.041$), as well as the overall treatment time (53%, $p < 0.0001$). Median pain was low (EVN = 1/10) and temporary (<5 days) with average acetaminophen consumption of 3.5g (1-8.5) during the first week post-surgery. Chewing was the function most affected by OT-PC and impacted daily life the most. After one week, 92.3% of patients would redo the surgery. At the end of treatment, all patients were satisfied with OT-PC. Root resorptions were generalized. On average, they were minimal in the posterior (<0.5 mm and <grade 1 Levander and Malmgren index) and less than moderate in anterior (<1 mm and <grade 2 Levander and Malmgren index). OT-PCs caused a mean buccal bone alveolar dehiscence on lower incisors of 3.3 mm. The thickness of the alveolar bone did not vary significantly, except on the upper incisors where it decreased by about 1 mm. Only one iatrogenic root damage was detected and 4 cortical bone incisions were not completely remineralized. Several inflammatory mediators demonstrated two peaks at 3 and 16 weeks, but these variations were not significant. **CONCLUSION:** OT-PCs were safe and effective at reducing the duration of orthodontic treatments while causing minimal postoperative pain with a high level of patient's satisfaction. Iatrogenic lesions on roots and the alveolar bone were minimal, except at the buccal aspect of the lower incisors where they were bone dehiscence observed.

Keywords: Piezo-corticision, Piezocision™, accelerated orthodontics, pain, root resorption, alveolar bone

Table des matières

Résumé	i
Abstract.....	ii
Table des matières	iii
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures.....	viii
Liste des abréviations	x
Remerciements	xiii
Introduction	1
1. REVUE DE LA LITTERATURE	2
1.1. Temps de traitement.....	2
1.2. Orthodontie de l'adulte.....	3
1.3. Les différentes procédures visant à réduire le temps de traitement orthodontique .	6
1.3.1. Techniques non-invasives.....	6
1.3.1.1 Infiltration de biomodulateur	6
1.3.1.2 Appareils modélisés	7
1.3.1.3 Système vibratoire	7
1.3.1.4 Photobiomodulation	7
1.3.1.5 Système électromagnétique pulsé.....	8
1.3.1.6 Laser à basse intensité.....	8
1.3.1.7 Conclusion.....	8
1.3.2. Procédures chirurgicales.....	9

1.3.1.8	« Surgery-first ».....	9
1.3.1.9	Historique et évolution des corticotomies orthodontiques.....	9
1.3.1.10	Piézocision™	13
1.3.1.11	Conclusion	15
1.4.	Concept« Periodontally-accelerated Osteogenic Orthodontics » (PAOO)	15
1.4.1.	Phénomène d’Accélération Régionale (PAR).....	16
1.3.2	Déplacement Dentaire Orthodontique	18
1.3.3	Temps de traitement :	20
1.4	Mécanismes moléculaires	20
1.5	Rapport bénéfices-risques.....	22
1.6	TVFC et modifications des tissus durs après un traitement d’orthodontie	25
1.6.1	Résorption radiculaire apicale externe	25
1.6.2	Os alvéolaire.....	26
2.	MÉTHODOLOGIE	28
2.1.	Hypothèses et objectifs	28
2.1.1.	Objectifs :	28
2.1.2	Hypothèses de recherche :	28
2.2.	Méthodologie de recherche	29
2.2.1.	Population.....	29
2.2.1.1.	Critères d’inclusion	29
2.2.1.2.	Critères d’exclusion	30
2.2.2.	Modalités de recrutement.....	30
2.2.2.1.	Groupe expérimental.....	30

2.2.2.2.	Groupe contrôle	31
2.2.3.	Taille de l'échantillon	32
2.2.4.	Recueil des données	32
2.2.5.	Schéma expérimental	38
2.2.5.1.	Phase préopératoire	38
2.2.5.2.	Phase péri-opératoire	42
2.2.5.3.	Phase postopératoire	46
2.3.	Statistiques	47
2.4.	Rôle du candidat à la maîtrise	48
3.	RÉSULTATS.....	49
3.1.	Résultats cliniques.....	49
3.1.1.	Flux de patients	49
3.1.2.	Caractéristiques des patients.....	50
3.1.3.	Comparaison du temps de traitement	51
3.1.4.	Douleur associée	52
3.1.5.	Impact sur la vie quotidienne	55
3.1.6.	Lésion iatrogénique des TO-PC	55
3.1.7.	Acceptation et satisfaction	56
3.2.	Tissus minéralisés.....	56
3.2.1.	Fiabilité des mesures	56
3.2.2.	Résorptions radiculaires apicales externes (RRAE).....	57
3.2.3.	Changements au niveau de la hauteur de l'os alvéolaire	57
3.2.4.	Changements au niveau de l'épaisseur de l'os alvéolaire	58

3.3.3	Déplacement des apex radiculaires	60
3.3.4	Lésions iatrogéniques piézo-chirurgicales des TO-PC	60
3.4	Marqueurs inflammatoires.....	61
3.5	ARN.....	63
4	DISCUSSION	64
5	CONCLUSIONS.....	72
	Bibliographie	73
	Annexe 1. Comité scientifique	89
	Annexe 2. Consentement.....	98
	Annexe 3. Questionnaire sur la douleur.....	106

Liste des tableaux

Tableau I. Récapitulatif des études sur le PAR pour les corticotomies et les techniques minimalement invasives.....	18
Tableau II. Récapitulatif des études du DDO post-corticotomies et post-techniques mini- invasives.....	20
Tableau III. Récapitulatif des études sur le temps de traitement post-corticotomies et post- techniques mini- invasives.....	20
Tableau IV. Descriptions des mesures et abréviations	35
Tableau V. Dimensions des piezo-corticisions (mm).	41
Tableau VI. Caractéristiques des groupes expérimental et contrôle (Min-Max).....	50
Tableau VII. Évaluation de l'impact de la PC sur les activités quotidiennes (n, %).....	55
Tableau VIII Description des erreurs de méthode aléatoires et de la fiabilité intra- et inter- évaluateur.....	56

Liste des figures

Figure 1.	Proportion des adultes ayant des traitements d'orthodontie au États-Unis (4).....	4
Figure 2.	Courbes de la douleur après l'insertion de trois différents fils Niti (41)	6
Figure 3.	Système électromagnétique pulsé et sa mise en bouche (54)	8
Figure 4.	Photo intra-orale de l'irradiation laser (55)	8
Figure 5.	Photo intra-orale de la technique chirurgicale de Gantes et al. (63).....	10
Figure 6.	Photo intra-orale de la technique chirurgicale des frères Wilcko (64)	10
Figure 7.	Photo intra-orale de la technique chirurgicale modifiée par Germec (65).....	11
Figure 8.	Schéma explicatif du concept de la MTDLD de Vercelotti (66).....	11
Figure 9.	Photo intra-orale de la technique de corticision de Park et Kim chez le chat (70)	12
Figure 10.	Photo intra-orale des micro-ostéo-perforations (71).....	12
Figure 11.	Protocole chirurgical de la Piézocision™ (7)	14
Figure 12.	Incisions piézo-électriques à travers un guide chirurgical en résine.....	14
Figure 13.	Incisions piézo-électriques à travers un guide chirurgical créé à l'aide de la technologie CAD/CAM	14
Figure 14.	Technique chirurgicale piézo-électrique par endoscopie (73).....	15
Figure 15.	Schéma explicatif simplifié du concept de la PAOO (83).....	16
Figure 16.	Courbe du DDO et des différentes phases de la résorption osseuse.....	18
Figure 17.	Schéma récapitulatif du phénomène de remodelage osseux dans un BMU (115). 21	
Figure 18.	Schéma récapitulatif des mécanismes moléculaires associés aux DDO accélérés (120)	22
Figure 19.	Schéma décrivant le rôle central des macrophages et des cytokines pro-inflammatoires dans les RRAE (119)	26
Figure 20.	Mesures sur le TVFC par la technique de Garlock et al. modifiée à partir de la ligne de référence (-). (A) hauteur (-) et épaisseur de l'os alvéolaire (-). (B) Épaisseur de l'os cortical (-) et de la longueur radiculaire (-).....	36
Figure 21.	Exemple des mesures sur la dent 24	36
Figure 22.	Exemple de recherche de lésions iatrogéniques.....	37
Figure 23.	Patient 1. Guide radiologique. Modèle en plâtre jaune avec le dessin au crayon carbone des traits d'incision potentiels. Modèle avec la gouttière thermo formable et les cônes de gutta percha fixés sur les traits à l'aide de la cire.	39
Figure 24.	Patient 1. Guide radiologique.: (A) coupe axiale du maxillaire supérieur localisé 3mm sous le rebord osseux crestal montrant la localisation des marqueurs des incisions osseuses, (B) coupe paramédiane sagittal du maxillaire supérieur quadrant 4(C) Coupe bucco-linguale du processus alvéolaire entre les dents 14 et 15.	40
Figure 25.	Coquille maxillaire de collage indirect.....	42
Figure 26.	Patient 1. Prélèvements du fluide gingivale au niveau des dents 22 et 26 et fioles de stockage.....	42
Figure 27.	Patient 1. Prélèvements de tissu gingival en regard de la face bucco-mésiale de la dent 16.....	43
Figure 28.	Patient 1. Protocole chirurgicale de la piézo-corticision. (A) Mise en bouche du guide chirurgical. (B) Incision à la lame 15 au travers du guide (C) Retrait du guide. (D)	

Mesure de l'épaisseur gingivale. (E) Incisions Piézo-électrique. (F) Fin de la procédure chirurgicale.	44
Figure 29. Patient 1. Photographies intraorales des 4 quadrants immédiatement après la pose des boîtiers orthodontiques.....	45
Figure 30. Flux de patient du groupe expérimental.....	49
Figure 31. Flux de patient du groupe contrôle	50
Figure 32. Box plot comparant les temps de traitements de l'alignement préliminaire des boîtiers du maxillaire (A) et de la mandibule (B) ainsi que la durée complète du traitement (C) entre le groupe expérimental et le groupe contrôle.	52
Figure 33. Box plot évaluant la douleur médiane dans le groupe expérimental durant la première semaine post-chirurgie sur (A) les dents, (B) la gencive et (C) et les joues. *° données aberrantes.	53
Figure 34. Proportion de participants dans le groupe expérimental qui ont pris ≥ 1 analgésique par rapport à ceux qui ont ressenti de la douleur	54
Figure 35. Nécrose de la dent 11	56
Figure 36. Box plot démontrant l'augmentation de l'index de Levander et Malmgren et la diminution moyenne de la longueur radiculaire (mm) dans le groupe expérimental (* $p < 0.05$, *** $p < 0.005$).	57
Figure 37. Box plot démontrant la diminution de la hauteur de l'os alvéolaire au buccale et au linguale dans le groupe expérimental (mm) (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$). ...	57
Figure 38. Box plot démontrant les modifications de l'os alvéolaire en épaisseur à mi-hauteur en mm (A, C, D) et à l'apex (B, E, F) pour le groupe expérimental. Une valeur positive indique une augmentation et une valeur négative une diminution (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$).	59
Figure 39. Box plot démontrant la distance des apex à la cortical buccale pour le groupe expérimental. Les apex n'ont pas significativement bougé par rapport à la corticale buccale. 60	60
Figure 40. Lésions piézo-chirurgicales iatrogéniques des TO-PCs	61
Figure 41. Concentration médiane (pg/ μL) avec l'intervalle de confiance 95% des marqueurs de l'inflammation.	63

Liste des abréviations

ABO-GS : American Board of Orthodontics Grading System

DACB : Distance de l'apex à la corticale buccale

DDO : Déplacement dentaire orthodontique

DI : Discrepancy index (Indice de difficulté)

EA : Epaisseur à l'apex de l'os alvéolaire

EACB : Epaisseur à l'apex de la corticale buccale

EACL : Epaisseur à l'apex de la corticale linguale

EMH : Epaisseur à mi-hauteur de l'os alvéolaire

EMHCB : Epaisseur à mi-hauteur de la corticale buccale

EMHCL : Epaisseur à mi-hauteur de la corticale linguale

GM-CSF : Facteur de croissance des granulocytes et macrophages

HB : Hauteur buccale

HL : Hauteur linguale

IL : Interleukines

INF : Interferon

LDR : Ligne de référence

LM : Index de Levander et Malmgren

LR : Longueur de la racine

MIP : Protéine inflammatoire des macrophages

MOP : Micro ostéo-perforations

PAOO : « Periodontally-accelerated Osteogenic Orthodontics »

PAR : Phénomène d'accélération régional

PBA : Preliminary Bracket Alignment

OPG : Ostéoprotégérine

RANKL : Ligand au récepteur activateur nucléaire Kappa B

TNF : Facteur de nécrose tumorale

TOC : Traitements d'orthodontie conventionnels

TO-PC : Traitement d'orthodontie assisté par la piézo-corticision

Vs : Versus

RRAE : Résorption radiculaire apicale externe

TMA : Alliage de titane et molybdène

TVFC : tomodensitométrie volumétrique a faisceau conique

*A l'amour de ma vie, qui en plus de m'avoir soutenu
durant ces trois années malgré les sacrifices,
m'a donné le plus beau des enfants.
Sans toi, cette expérience n'aurait probablement pas été possible.*

*A notre petit Gabriel pour le bonheur
que tu nous apportes chaque jour,
continue de nous éblouir comme tu le fais*

A ma sœur pour sa complicité

A mes parents qui ont fait de moi ce que je suis

A mes grand- parents pour leurs exemples

A toute ma famille pour les bons moments passés ensemble

A toute ma belle-famille pour m'avoir grand ouvert leur porte

Remerciements

Je tenais à remercier toute l'équipe de recherche pour m'avoir aidé et conseillé dans ce projet, sans vous il n'aurait pas pu aboutir. Je tiens spécialement à remercier les Dr Robert Durand et Dr René Voyer pour la qualité de leurs chirurgies et pour leurs conseils, ainsi que M. Pierre Rompré pour ses analyses statistiques et sa disponibilité. Je remercie la Dre Fatiha Chandad pour sa collaboration avec l'Université Laval. Je remercie bien évidemment mon co-directeur, le Dr Matthieu Shmittbühl pour son expertise en imagerie TVFC et ma directrice, la Dre Clarice Nishio pour avoir accepté de faire cette étude avec moi, d'avoir suivi les patients et de m'avoir guidé tout au long de ce projet de recherche.

Un grand merci au Dr Claude Remise pour m'avoir accepté dans cet excellent programme, je tâcherai d'appliquer vos conseils tout au long de ma carrière.

Je remercie également le Dr Hicham El-Khatib pour ses conseils cliniques avisés.

Merci au Dr Réjean Labrie d'avoir accepté de faire partie du comité du jury et pour votre rigueur aussi bien clinique que photographique.

Merci à tous les cliniciens et aux assistantes Josée et Josée.

Sans le fond de soutien à un projet collaboratif émergent de l'Université de Montréal et le fond de l'Université Laval, ce projet n'aurait pas pu être réalisé. Je tenais à remercier ces deux Universités pour cette aide financière.

Introduction

D'après l'« American Association of Orthodontists », la durée des traitements est généralement comprise entre 18 et 30 mois (1). Depuis une vingtaine d'années, l'orthodontie de l'adulte est en plein essor (2), mais la durée du traitement reste le principal facteur de refus et de plainte des patients. Pour répondre à cette problématique, les orthodontistes en collaboration avec d'autres spécialistes ont cherché à réduire le temps de traitement par différentes techniques, invasives ou non. Les techniques chirurgicales qui ont pour objectif d'accélérer les traitements orthodontiques, sont les plus étudiées et elles ont tendance à se démocratiser depuis l'introduction en 2001 des corticotomies par les frères Wilcko (3). Leur technique chirurgicale passe par l'élévation d'un lambeau mucopériosté associée à des incisions circonférentielles de l'os cortical créées à l'aide d'une turbine chirurgicale et de fraises à os. Elles sont souvent considérées comme trop invasives par le praticien et le patient, c'est pourquoi leur acceptation reste faible (4). Pour pallier ce problème, une nouvelle approche chirurgicale minimalement invasive sans lambeau a été développée, la piézo-corticision ou Piézocision™ (5). Cette procédure chirurgicale semble diminuer le temps de traitement à peu près de moitié (6). En plus de l'amélioration de la satisfaction des patients vis-à-vis du traitement, ces nouvelles techniques pourraient avoir d'autres avantages médicaux comme la réduction du risque de résorption radiculaire, du risque carieux et de maladie parodontale. Même si les patients peuvent actuellement bénéficier de cette thérapeutique, son utilisation en routine n'est pas encore recommandée. En effet, la littérature relève le manque d'études scientifiques fiables sur le sujet et beaucoup d'entre elles ne sont que des rapports de cas cliniques ou des études réalisées sur des modèles animaux (7, 8). Les mécanismes cellulaires mis-en jeu dans le phénomène d'accélération régional (PAR), leur durée et leur intensité sont également largement débattus (9). L'objectif principal de cette étude prospective comparative était de comparer la durée des traitements d'orthodontie assistés par la piézo-corticision (TO-PC) à celle des traitements d'orthodontie conventionnels (TOC). Les objectifs secondaires étaient d'apporter des informations sur la douleur et l'impact de la TO-PC sur la vie courante, ainsi que sur les changements biologiques et physiques engendrés

1. REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1. Temps de traitement

Avant les années 2000, les études décrivaient fréquemment des temps de traitement supérieurs à 30 mois (10, 11). Avec l'évolution des techniques orthodontiques, la durée moyenne des traitements semble diminuer (1). Actuellement, la littérature parle de moyennes légèrement inférieures à deux ans (1, 12). La dernière revue systématique compilant les données de 1211 patients, conclut que le temps de traitement moyen est de 20,02 mois avec un nombre moyen de visites de 17,81 (13).

Dans la littérature, plusieurs facteurs sont proposés pour expliquer l'hétérogénéité du temps de traitement orthodontique, mais les données sont parfois contradictoires.

- La coopération du patient :

Le manque de coopération (rendez-vous manqués, boitiers décollés, hygiène, port des élastiques) est l'un des facteurs majeurs augmentant la durée des traitements (12, 14, 15). Il expliquerait à lui seul près de 45 % des variabilités pour un traitement complet (10, 15)

- Age :

Lorsqu'on est en dentition permanente, l'âge ne semble pas jouer sur la durée du temps de traitement (16), même chez les patients adultes (15). Toutefois, Turbill (16) décrit une augmentation chez les patients qui débutent le traitement entre 11 et 16 ans.

- Extractions :

L'influence des extractions est controversée. Pour certaines études, le nombre et le moment de la prise de décision de celles-ci augmentent la durée des traitements. (12, 14). Tandis que pour d'autres, elles ne jouent pas un rôle significatif (15, 17).

- Sexe :

Excepté dans l'étude de Skidmore (12) qui mentionne une augmentation du temps de traitement chez l'homme adolescent de 1,2 mois, le sexe ne semble pas avoir d'influence sur la durée des traitements (10, 18, 19).

- Le type de boitier :

D'après les dernières revues systématiques et méta-analyses, le type de boitier orthodontique (ligaturant vs auto-ligaturant) ne semble pas modifier la longueur des traitements (20-23).

- La sévérité du cas :

Le rôle de ce facteur est contrasté en fonction des études et de la classification utilisée :

- o En accord avec la revue systématique de Mavreas (14), l'étude de Melo et al. conclut que le type de malocclusion initiale n'a pas un rôle significatif sur la durée du traitement (15). Cependant, d'autres études ont démontré que les malocclusions de classe II étaient plus longues à traiter de 1,5 mois à 5 mois (12, 16, 24). Des évidences scientifiques fortes indiquent par contre que plus on commence tôt le traitement des classes II, plus le traitement sera long (14).
- o Le score du « Peer Assessment Rating » index ne semble pas ou peu corrélé à la durée du temps de traitement (15-17).
- o Plus récemment, une étude rétrospective indique que chaque point de l'indice de difficulté ou « discrepancy index » (DI) augmente de 11 jours en moyenne la durée du temps de traitement

1.2. Orthodontie de l'adulte

L'orthodontie de l'adulte n'est pas nouvelle, Flint en 1947 parlait déjà de cette discipline (25). Elle est par contre en plein essor depuis une vingtaine d'années. Entre 2012 et 2014, il y a eu une augmentation de 16% du nombre de patients adultes potentiellement intéressés par un

TOC (2, 26). Comme le montre la figure 1, la population adulte dans les cabinets d'orthodontie représente plus d'un quart des traitements et ce chiffre va en augmentant avec les années (4, 26) :

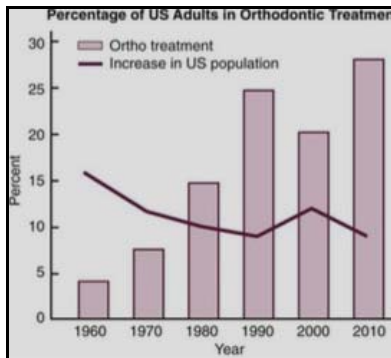


Figure 1. Proportion des adultes ayant des traitements d'orthodontie au États-Unis (4).

L'orthodontie de l'adulte, est une discipline à part entière à cause des nombreuses spécificités qui lui incombent. Par définition, chez l'adulte, la croissance est terminée (même si les tissus mous et osseux continuent d'évoluer toute la vie). Le psychisme, l'état dento-parodontal, les attentes esthétiques et fonctionnelles ainsi que la motivation sont également différents de chez l'enfant ou l'adolescent (2). Pour Proffit (2), plusieurs considérations sont à prendre en compte lors d'un traitement chez l'adulte :

- Le plan de traitement est généralement pluri-disciplinaire, il doit donc être fait en collaboration avec l'ensemble des praticiens.
- Vu que de nombreuses spécialités sont souvent impliquées dans le diagnostic et le traitement, il est préférable d'attendre l'ensemble des résultats avant le début du traitement, surtout que plusieurs maladies buccodentaires (maladie parodontale, lésion endodontique ou carieuse) doivent être contrôlées avant le début du traitement.
- Une occlusion idéale et l'esthétique facial ne sont pas toujours l'objectif du traitement. Ainsi, des traitements de compromis peuvent être acceptés si le patient a donné son consentement.

- L'adulte nécessite plus d'explications sur son traitement car il est souvent plus intéressé que l'adolescent mais il est également plus sensible à la douleur et peut donc nécessiter un traitement médicamenteux.

Le port d'appareil orthodontique chez les patients adultes est de mieux en mieux accepté dans nos sociétés mais une partie de cette population refuse encore l'orthodontie pour des raisons socio-psycho-culturelles. Avant de débiter un traitement, la principale attente est l'amélioration esthétique du sourire chez environ 60% des patients (27, 28). A l'opposé, le principal facteur de refus chez l'adulte est la peur d'un temps de traitement trop long (28, 29). D'après l'étude d'Uribe, 42,9 % des patients adultes espèrent que la durée du temps de traitement soit comprise entre 6 et 12 mois, hors dans son étude, seulement 34,7% des patients ont eu un traitement d'une durée inférieure à un an (30). A la fin du traitement, la majorité des patients sont satisfaits (27, 31), mais les deux plaintes principales sont la durée et la douleur. La durée était trop longue pour environ un tiers des patients adultes (27, 28, 30-32). Concernant la douleur, dans la population générale, plus de 90% des patients ont eu de la douleur au cours du traitement (32-34). A la fin de la phase active, 40 (28, 32) à 60% (31) des adultes se plaignent de douleur. Après l'insertion du premier fil, la douleur est importante pendant les 3 premiers jours (34) avec un pic entre 24 et 48 heures variant de deux à cinq dixième de l'échelle, puis redescend quasiment à son niveau initial après 7 jours (Figure 2) (33, 35-39).

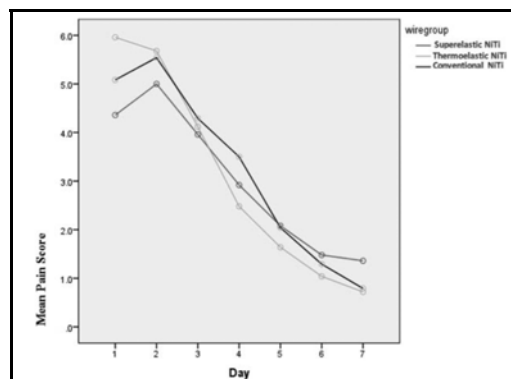


Figure 2. Courbes de la douleur après l'insertion de trois différents fils Niti (39)

Ces éléments expliquent en partie pourquoi les orthodontistes ont voulu diminuer la durée de leurs traitements, mais il a été rapporté que cela ne peut pas se faire au dépend d'une douleur ou d'un coût supplémentaire trop important (4, 30).

1.3. Les différentes procédures visant à réduire le temps de traitement orthodontique

Des techniques très différentes sont proposées. Elles utilisent pour certaines des médications et pour d'autres des stimuli physiques ou des techniques chirurgicales (40, 41). En 2014, près de 80% des études publiées sur le sujet ont été faites dans les 4 années précédentes (41). Cela démontre bien l'engouement de la profession pour essayer d'accélérer la vitesse de déplacement des dents afin de réduire le temps de traitement orthodontique.

1.3.1. Techniques non-invasives

Des techniques non invasives très variées sont proposées pour réduire le temps de traitement. Leur caractère non-invasif, leurs permettent généralement d'être mieux acceptées par le patient (30, 42).

1.3.1.1 Infiltration de biomodulateur

L'injection de prostaglandine (PGE1) permettrait d'augmenter la vitesse des dents de 1,6 à 3 par rapport au groupe contrôle (43, 44) alors que Kale et al. retrouve une augmentation de 60% avec les PGE1 (45). Des résultats similaires ont été obtenus avec l'injection locale de vitamine D (46).

1.3.1.2 Appareils modélisés

Les appareils modélisés sont faits sur mesure et sont personnalisés. Ils utilisent la technologie de conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO) ou encore Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM). D'après les fabricants, ils diminuent la durée des traitements. Les plus connus sont Insignia™ et SureSmile®. Respectivement, ils diminueraient de 6,68 mois (47) et de 25% la durée globale du traitement (48).

1.3.1.3 Système vibratoire

Chez le rat, l'étude de Nishimura démontre une augmentation du déplacement dentaire par des vibrations (60 Hz, 1.0 m/s²) en augmentant l'expression de RANKL (49).

Chez l'homme, une étude conclut que la vitesse de déplacement des dents est d'environ 2-3 mm/mois en fonction de l'arcade en utilisant AcceleDent Vibratory System (OrthoAccel Technologies, Inc., Houston, TX), alors qu'en général les dents se déplacent de 1mm/mois (42). Ces conclusions sont contredites par une étude randomisée contrôlée qui ne démontre pas d'augmentation statistiquement significative du déplacement dentaire orthodontique (DDO) ou de réduction du temps de traitement (50).

1.3.1.4 Photobiomodulation

Le DDO semble être augmenté par les photobiomodulations (Extra-oral OrthoPulse LED, Biolux Research, Vancouver, Canada) de plus de 50% (1.12 mm/semaine Vs 0.49mm/semaine) pour la phase d'alignement (51), mais les preuves scientifiques corroborant ses résultats sont faibles.

1.3.1.5 Système électromagnétique pulsé

Le système électromagnétique pulsé (figure 3) est issu de la médecine orthopédique, la rétractation canine serait en moyenne de 1.57 ± 0.83 mm plus importante dans le groupe expérimental après 5.0 mois (52).

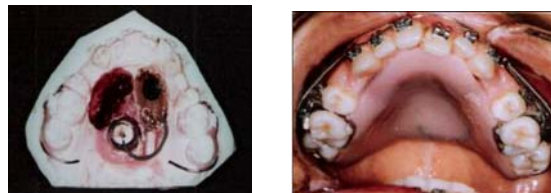


Figure 3. Système électromagnétique pulsé et sa mise en bouche (52)

1.3.1.6 Laser à basse intensité

Chez l'homme il semble y avoir une augmentation de la vitesse de déplacement des dents d'environ 30% après un traitement au laser à basse intensité (figure 4) (41, 53).



Figure 4. Photo intra-orale de l'irradiation laser (53)

1.3.1.7 Conclusion

De nos jours, la pratique dentaire doit être guidée par l'« evidence-based dentistry», hors les évidences scientifiques pour les techniques non-invasives sont faibles (54). Leur utilisation n'est donc pas encore recommandée. Des recherches avec des bons niveaux de preuve doivent

être entreprises pour confirmer leur validité.

1.3.2. Procédures chirurgicales

1.3.1.8 « Surgery-first »

Un nouveau protocole pour les chirurgies orthognatiques a été proposé pour diminuer le temps de traitement. La chirurgie est réalisée en début de traitement, parfois associée à des corticotomies, afin que l'orthodontiste profite de la réaction de type PAR (55). Les résultats et la stabilité semblent équivalents par rapport aux TOC mais le temps de traitement est diminué de 6 à 12 mois (57). Toutefois, les indications de cette approche restent encore limitées.

1.3.1.9 Historique et évolution des corticotomies orthodontiques

a) Köle, 1959 : « concept du bloc osseux »

Köle Heinrich a émis l'hypothèse que l'os cortical constituait un facteur important s'opposant au mouvement dentaire (57). Il a alors eu l'idée de réaliser des corticotomies segmentaires interproximales associées à une ostéotomie horizontale sous-apicale. Les dents et leur tissu de soutien formeraient ainsi des « blocs osseux ». Ces blocs pourraient ainsi se déplacer plus ou moins indépendamment les uns des autres et donc plus rapidement. Düker en 1975 reproduit ce protocole avec succès sur le chien beagle (58).

b) Generson, 1978

Generson (61) modifia la technique de K le en remplaçant les ostéotomies sous-apicales par des corticotomies. Anholm et al. en 1986 (60) et Gantes et al. en 1990 (Figure 5) (61) utilisent la même méthode et tous constatent une accélération des mouvements post-chirurgicaux sans effet néfaste sur le parodonte. Ils se r f rent au concept du déplacement dit du « bloc osseux » pour expliquer l'augmentation du DDO.

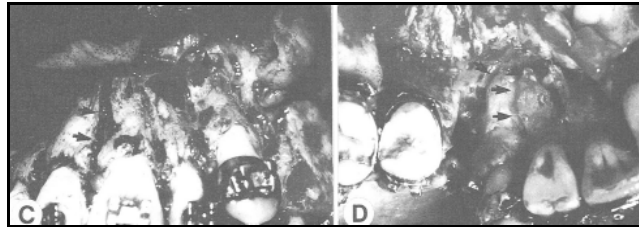


Figure 5. Photo intra-orale de la technique chirurgicale de Gantes et al. (61)

c) Wilcko, 2001 : « Concept de la PAOO »

Les frères Wilcko ont introduit la notion de « Periodontally-accelerated Osteogenic Orthodontics » (PAOO). La technique chirurgicale se rapproche de la précédente mais ils réfutent le concept du « bloc osseux » défendu par K le. Pour eux, l'accélération du déplacement dentaire serait expliquée par le PAR. Leur technique opératoire passe par une décortication de l'os à la fraise associée à une greffe de tissu osseux au besoin (figure 6) (3).

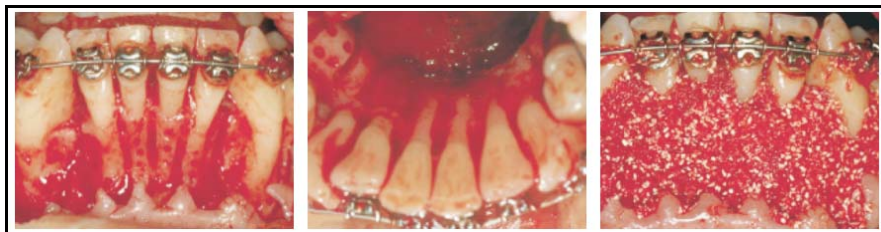


Figure 6. Photo intra-orale de la technique chirurgicale des frères Wilcko (62)

En 2006, Germec et al. proposent d'éliminer le lambeau lingual (figure 7) et obtiennent des résultats satisfaisants (63). Actuellement, ce type de procédure est probablement la plus utilisée par les praticiens.



Figure 7. Photo intra-orale de la technique chirurgicale modifiée par Germeç (63)

d) Vercellotti, 2007 : Piézo-chirurgie

Après décollement d'un lambeau de pleine épaisseur du côté correspondant à la direction du mouvement recherché, les auteurs réalisent des corticotomies autour de chaque racine à l'aide d'un insert piézo-électrique (Figure 8). Une force biomécanique est appliquée immédiatement après la chirurgie. Pour les auteurs, le ligament parodontal n'est pas sollicité ce qui évite les résorptions parodontale et osseuse. C'est ce qu'ils appellent la « technique de luxation dentaire mono-corticale » (64). Ce concept se rapproche du concept « bloc osseux » mais il semble actuellement réfuté par une grande partie de la communauté scientifique au profit du PAR.

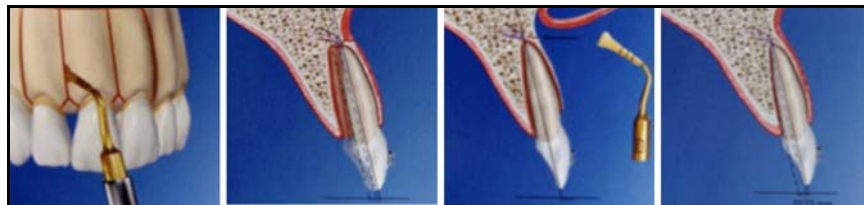


Figure 8. Schéma explicatif du concept de la MTDLD de Vercelotti (64)

Le point intéressant de cette technique est l'utilisation de l'insert piézo-électrique. En effet, il a permis de développer des techniques moins invasives sans lambeau muco-périosté. Cet instrument chirurgical présente plusieurs avantages intéressants pour ce type de chirurgie par rapport au système rotatif. Tout d'abord, les micro-vibrations permettant la coupe sont efficaces uniquement sur les tissus minéralisés. Par conséquent, les risques pour les tissus mous adjacents sont très limités (65). D'après les études animales, l'autre avantage potentiel serait qu'avec cette

technologie, le volume osseux augmente suite à la chirurgie alors qu'il diminue avec les instruments rotatifs (65, 66). La douleur est similaire dans les deux cas, mais le temps chirurgical est plus long avec l'insert piézo-électrique (67). Le désavantage majeur est que la vitesse des dents est 1,6 fois plus faible avec la piézo-chirurgie par rapport aux instruments rotatifs (67). Cette diminution est peut-être due au fait que la piézo-chirurgie est moins invasive que les instruments rotatifs (67).

e) Park, 2006 et Kim, 2009 : « Corticision »

Ils ont proposé une technique de corticision sans élévation de lambeau. Chez l'animal, ils utilisent un bistouri renforcé et un maillet pour traverser la gencive et la corticale (figure 9). Ils obtiennent une réponse de type PAR qui a permis une accélération du DDO (68).

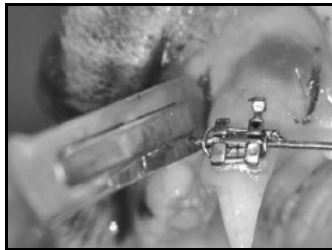


Figure 9. Photo intra-orale de la technique de corticision de Park et Kim chez le chat (68)

f) Micro ostéo-perforations (MOP)

La société Propel Orthodontics (Ossining, NY) reprend l'idée précédente et développe le PROPEL®. Cet instrument se rapproche du tournevis et permet de réaliser des micro-ostéo-perforations sans élévation de lambeau (Figure 10) (69).



Figure 10. Photo intra-orale des micro-ostéo-perforations (69)

1.3.1.10 Piézocision™

La piézocision™ ou piézo-corticision a été mise au point en 2009 à l'Université de Boston par l'équipe du Professeur Dibart. Dans les 2 premières publications, le protocole était le suivant (5, 70) :

- Anesthésie locale
- Incisions inter-proximales, sous papillaires, vestibulaires et verticales entre chaque dent à l'aide d'une lame 15, sauf où l'on veut faire une greffe osseuse ou muqueuse. Généralement ces dernières se situent au niveau des incisives inférieures compte tenu que l'os et la gencive sont souvent minces à ce niveau (Figure 11A).
- Au niveau du site de greffe, une tunnélisation muco-périostée est réalisée à l'aide d'un élévateur afin de créer un volume permettant l'insertion du greffon (Figure 11F).
- La muqueuse est étirée au niveau des incisions pour permettre d'étudier la morphologie de l'os et des racines sous-jacentes
- A l'aide d'un insert piézo-chirurgical (BS1, Piezotome™, Satelec Acteon, Mérignac , France), des incisions verticales interproximales dans l'os cortical, puis alvéolaire, sont réalisées sur une profondeur de 3mm environ (Figure 11B-D).
- L'insertion du greffon osseux dans le tunnel peut se faire à l'aide d'une seringue. Ici les auteurs utilisent une allogreffe d'os déminéralisé lyophilisé (Regenafil® allograft paste, Exactech, Inc., Gainesville, FL) (Figure 11E).
- Si besoin, un greffon de tissu conjonctif est inséré dans le tunnel par la technique de la trappe puis il est suturé (Figure 11G-H).
- Dans ce protocole opératoire seules les incisions qui ont été tunnélisées sont suturées à

l'aide d'un fil résorbable 5.0. [15] Quelques gouttes de colle médicale cyanoacrylate peuvent compléter les sutures (PeriAcryl™, GluStitch™, Point Roberts, WA) (Figure 14 I-J)

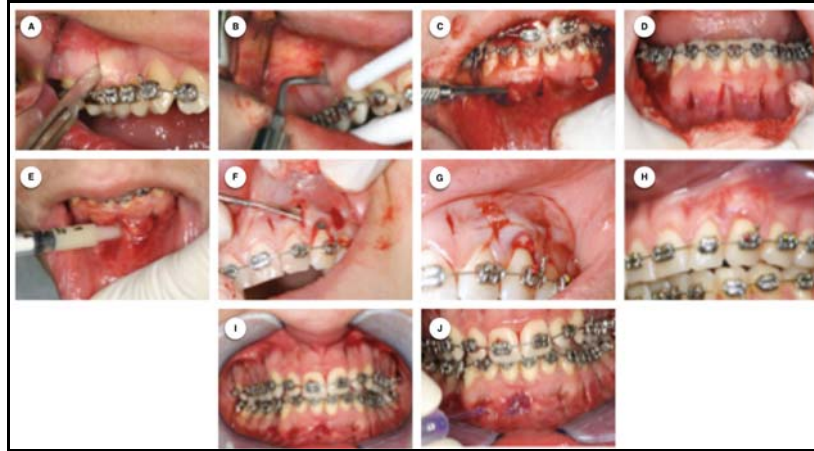


Figure 11. Protocole chirurgical de la Piézocision™ (5)

Certains auteurs utilisent le principe de la chirurgie guidée pour essayer de diminuer le risque d'endommager une racine avec l'insert piézo-électrique. A partir d'un TVFC couplé à une empreinte, ils planifient sur ordinateur la profondeur et la localisation des traits d'incision et modélisent un guide chirurgical (Figure 12-13) (66, 67).



Figure 12. Incisions piézo-électriques à travers un guide chirurgical en résine



Figure 13. Incisions piézo-électriques à travers un guide chirurgical créé à l'aide de la technologie CAD/CAM

Un rapport de cas d'une technique micro-invasive a été publié. Le chirurgien ne fait qu'une ou deux incisions gingivales interproximales et intervient à l'aide d'un endoscope après une

tunnélisation (figure 14) (73).



Figure 14. Technique chirurgicale piézo-électrique par endoscopie (73)

Les temps de traitement sont variables en fonction des rapports de cas. Ils décrivent des durées comprises entre 4 et 10 mois (5, 72, 74) qui correspondent à des temps 50% plus courts que ceux généralement décrits dans la littérature (13). Sauf pour un cas, où la durée était de 24 mois (75). La technique est versatile. Elle peut être combinée également avec le système lingual (76) et les aligneurs (77, 78).

1.3.1.11 Conclusion

Il ressort que la profession tente de se diriger vers des techniques de moins en moins invasives car l'acceptation des patients et des orthodontistes pour les thérapeutiques invasives est faible (4, 30). Néanmoins, les évidences scientifiques sont encore insuffisantes, surtout à moyen et à long terme (7, 9, 41, 79-82).

1.4. Concept « Periodontally-accelerated Osteogenic Orthodontics » (PAOO)

Tel que discuté précédemment, le concept de la PAOO est introduit pour la première fois par les frères Wilcko en 2001 (3). Ils réfutent le concept du « bloc osseux » défendu par Köle et proposent une explication biologique faisant intervenir le PAR (83) :

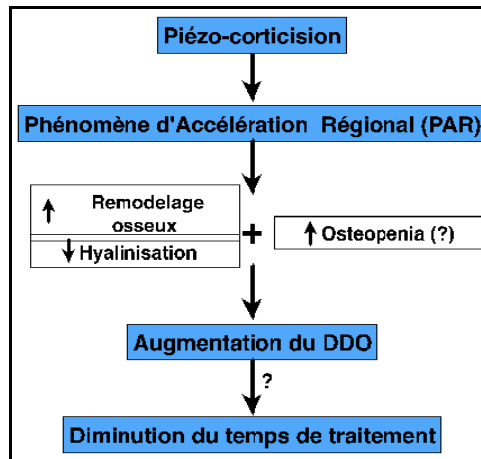


Figure 15. Schéma explicatif simplifié du concept de la PAOO (83)

1.4.1. Phénomène d'Accélération Régionale (PAR)

Harold Frost en 1989 (84) observe qu'après une agression chirurgicale du tissu osseux, un phénomène d'activation-différentiation important se produit à proximité immédiate du site opératoire. Il appelle ce processus de cicatrisation physiologique « Phénomène d'accélération Régional » (PAR). Ce PAR est caractérisé par une augmentation de la vitesse du remodelage osseux et un état d'ostéopénie. Il dénote une corrélation directe entre l'importance du traumatisme, sa proximité et l'intensité du processus de cicatrisation. Ces conclusions sont encore discutées et varient d'une technique à l'autre. Pour Teixeira (85), il n'y a pas d'intérêt à faire des MOP à proximité directe (<4mm) des dents tandis que pour Yang (86), plus on est proche, plus les corticotomies sont efficaces et au-delà de 5mm, il n'y a plus d'effet. Les auteurs s'accordent par contre sur le fait que l'efficacité n'est pas proportionnelle à l'invasivité de la chirurgie (86, 87). Les résultats de plusieurs études sur les corticotomies et les techniques minimalement invasives sont résumés dans le tableau I.

		PAR	
		Corticotomies	Techniques minimalement invasives
Hyalinisation	Animal	Chez le chien : - La phase de hyalinisation engendrée par les mouvements dentaires orthodontiques est plus courte (1 semaine dans le groupe contrôle Vs 1 à 4 semaines dans le groupe expérimental) (88)	Chez le rat : - Les corticisions diminuent le phénomène de hyalinisation et il dure moins longtemps (70) - Les corticisions diminuent la hyalinisation à 3 jours mais pas après (89).
	Homme	Aucune étude	Aucune étude
Remodelage osseux	Animal	Chez le rat : - Il existe une réaction de type PAR après l'élévation d'un lambeau mucco-périosté. Elle commence quelques jours après la chirurgie et revient au niveau de base après 4 mois (90). - Dans le groupe expérimental, il y a une augmentation par 3 environ du remodelage osseux avec maximum à 3 semaines puis il diminue pour rejoindre le groupe contrôle à 7 semaines (91). - Le remodelage osseux est maximum au cours des 3 premières semaines. Le nombre d'ostéoclastes n'est pas statistiquement supérieur au groupe contrôle (92). - Il existe une augmentation du remodelage osseux au cours du premier mois dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle (93). - Les corticisions augmentent la résorption osseuse (89). Chez le chien : - Il existe une augmentation du remodelage durant au moins les deux premières semaines post-corticotomies (88). - Le remodelage osseux est plus important et plus diffus du côté expérimental (94).	Chez le rat : - Corticisions : Elles augmentent par 3,5 le remodelage osseux dans la direction du mouvement dentaire à 4 semaines (70). - MOP : A 4 semaines, il y a une augmentation d'environ 2,5 de l'activité ostéoclastique (85). - Corticisions : Une autre étude ne démontre pas de remodelage osseux plus important dans le groupe corticision Vs contrôle après 14 jours (95). - Piézocisions : L'activité ostéoclastique est maximale à 7 jours puis redescend au même niveau, voire en dessous du niveau initial après 28 jours. L'activité est moins importante que dans le groupe contrôle, sauf le premier jour (96). - MOP : Il y a une augmentation statistiquement significative par 4 du nombre d'ostéoclastes post-MOP ou post-corticision à 3 semaines. Par contre, cette différence n'est plus significative à 6 semaines (97) - Corticisions : Le remodelage osseux bucco-lingual est plus élevé dans le groupe expérimental mais pas au mésial (98). - Les corticisions n'augmentent pas la résorption osseuse (89). Chez le chien : - Piézocisions : (99) : Le côté expérimental présente plus d'os nouvellement formé et plus de remodelage apico-buccal, cervico-lingual et buccal que le côté contrôle.
	Homme	Aucune étude	- MOP : Après 7 jours, il n'y a pas de différence significative des marqueurs de l'inflammation entre le groupe expérimental et le groupe contrôle, sauf pour IL-1(71).
Ostéopénie	Animal	Chez le rat : - L'ostéopénie est maximale à 21 jours. Après 2 mois, le groupe expérimental rejoint le groupe contrôle (100). - Il existe une diminution du contenu minéral osseux avec une différence statistiquement significative par rapport au groupe contrôle à 14 jours (-63%), puis une augmentation jusqu'à 42 jours sans différence significative. Pour la densité osseuse minérale, il n'y pas de différence significative (93).	Chez le rat : - MOP : Le rapport Bone Volume/Tissue Volume (BV/TV) à 4 semaines est de 82% dans le groupe contrôle et de 33% dans le groupe expérimental, soit une diminution d'environ 2,5 (85). - Corticisions : Il n'y a pas plus d'ostéopénie avec ou sans corticisions après 14 jours (95). - Piézocisions : La déminéralisation augmente jusqu'à 4 semaines puis diminue pour revenir au niveau de base à 8 semaines. La déminéralisation est significativement moindre dans le groupe chirurgical à 7 jours seulement (96). - MOP/ Corticisions : Il n'y a pas de différence significative du rapport BV/TV entre les groupes à 3 semaines (-55 à 60%), mais la différence est significative à 6 semaines pour les MOP (-46% vs -59%). Pour la densité osseuse minérale, il existe une diminution significative à 3 semaines pour le groupe corticisions et à 6 semaines, cette diminution est significative pour les deux groupes chirurgicaux (97). -Corticisions : La fraction osseuse et la densité apparente sont significativement moindres au niveau bucco-lingual du côté expérimental mais pas en mésial, tout comme la densité osseuse en mésial et en lingual (98). Chez le chien : - Piézocisions : L'os est moins dense du côté expérimental par rapport au contrôle (99).
	Homme	- Il y a un état d'ostéopénie après le début du traitement d'orthodontie associé ou non aux corticotomies, mais il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les 2 groupes (101)	Aucune étude

CONCLUSION : Le remodelage osseux semble être augmenté au cours du premier mois, puis se rapprocherait du groupe contrôle. Concernant l'ostéopénie, la littérature n'est pas claire, mais il se pourrait qu'elle soit présente et augmentée durant le premier mois également. Basé sur ces éléments, le PAR associé à ces chirurgies semble être effectif durant 4 ± 2 semaines. Peu d'études ont été publiées chez l'homme et d'autres recherches doivent être menées pour confirmer ces résultats.

Tableau I. Récapitulatif des études sur le PAR pour les corticotomies et les techniques minimalement invasives

1.3.2 Déplacement Dentaire Orthodontique

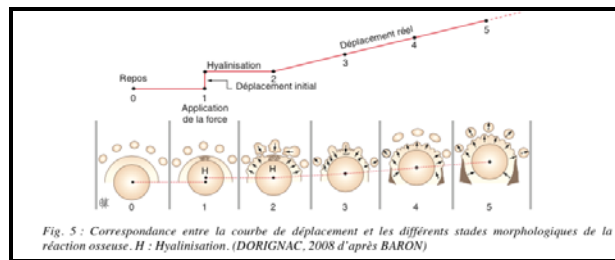


Figure 16. Courbe du DDO et des différentes phases de la résorption osseuse

Suite à l'application d'une force orthodontique le DDO se fait en plusieurs étapes (Figure 16):

- Il y a un déplacement immédiat hydropneumatique :

La dent initialement va compresser l'espace ligamentaire ce qui va provoquer une ischémie. Dans un second temps une déformation primaire de l'os alvéolaire apparaît.

- Apparition d'un phénomène de hyalinisation :

Ce phénomène apparaît trois jours après le début de l'application de la force et va durer en moyenne entre 12 et 15 jours. A cause de la compression, il y a une dégénérescence cellulaire qui correspond à une nécrose aseptique, c'est la zone hyaline. Ce phénomène ne semble pas pouvoir être évité même avec l'application de forces douces. Son importance, varie par contre en fonction de la force appliquée. Lors de cette phase, le mouvement dentaire est inhibé.

- Elimination de la zone hyaline :

Elle va se faire à grâce aux ostéoclastes de façon directe à partir des zones latérales ligamentaires et indirecte ou « sous minée » (2) à partir de la moelle osseuse adjacente.

- Déplacement dentaire :

La dent se déplace ensuite de façon continue lorsqu'une force douce et continue est appliquée.

La vitesse est proportionnelle au remodelage cellulaire osseux (102). L'idée de l'orthodontie rapide facilitée chirurgicalement est d'exploiter et d'amplifier le remodelage osseux (PAR) afin que le DDO soit plus rapide (103). Les résultats de différéntes études sur ce sujet sont regroupés dans le tableau II.

Déplacement Dentaire Orthodontique		
	Corticotomies	Techniques mini-invasives
Animale	<p>Chez le rat :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Il n'y a pas une différence statistiquement significative du DDO après 3 semaines entre les groupes (100). - En accord avec les résultats précédents, Baloul et al. ne retrouvent pas de différence significative dans le groupe test, voir même une infériorité après 4 semaines pour la vitesse et la quantité de déplacement. Cependant, une différence importante est retrouvée à 7 et 21 jours (93). - Les différentes variantes chirurgicales des corticotomies n'augmente pas de façon significative le DDO par rapport au groupe contrôle (87). - Les corticotomies n'augmentent pas le DDO au cours des 4 premières semaines (89). <p>Chez le chien :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le DDO est environ 4 fois supérieur au maxillaire et 2 fois supérieur à la mandibule après 8 semaines (87). - La vitesse est similaire après 6 semaines à la mandibule mais est environ 4 fois supérieure au maxillaire (104). - La vitesse est 2 à 5 fois supérieure au groupe contrôle pendant les 2 premières semaines mais celle-ci est non significative après. La distance parcourue est par contre 2 fois supérieure pendant le premier mois (88). - Mostafa et al retrouvent un déplacement 2 fois supérieur à 4 semaines mais la courbe commence à s'infléchir en direction du groupe contrôle à 5 semaines. (94). - Pour d'autres, après 2 mois, le DDO est 1mm plus important dans le groupe expérimental, soit 1,7 fois plus. La vitesse des dents du groupe expérimental décrit un pic à 25 jours avec une augmentation de 85% par rapport au groupe contrôle, mais elles sont similaires après 2 mois. Leurs résultats montrent également qu'une deuxième chirurgie à 4 semaines n'augmente que très peu l'efficacité des corticotomies (105). 	<p>Chez le rat :</p> <ul style="list-style-type: none"> - MOP : Les résultats de l'étude de Teixeira et al. montrent une augmentation significative par 2 du déplacement dentaire à 1 mois (85). - Corticisions : Pour Murphy et al., il n'y a pas de différence significative du DDO entre le groupe contrôle et le groupe expérimental après 14 jours (95) - MOP et corticisions : Tsai et al. ne retrouvent pas de différence significative de la vitesse ou du DDO entre les groupes jusqu'à 6 semaines, sauf durant la deuxième semaine où les dents se déplacent environ 1,5 fois plus rapidement (97). - Corticisions : L'étude de Swapp et al. ne démontre pas non plus de différence significative entre les groupes après 56 jours (98). - Les corticisions n'augmentent pas le DDO au cours des 4 premières semaines (89). <p>Chez le chien :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corticisions : Cette technique semble augmenter la vitesse durant le premier mois. La répétition de la chirurgie ne semble pas jouer sur la vitesse. Après 3 mois, il n'y a pas de différence significative sur la quantité de mouvement entre le groupe expérimental et le groupe contrôle (106). - Piézocisions : Ruso et al. (99) décrivent une augmentation par 1,35 du déplacement dentaire lors de l'expansion sur fil associée à la piézocision avec un pic de vitesse à 5 semaines. Le tipping augmente également par 1,05.

Homme	<ul style="list-style-type: none"> - Dans leur étude, Aboul-Ela et al. décrivent une augmentation de la vélocité par 2 pendant les 2 premiers mois puis par 1,6 au cours du 3^{ème} mois. Ensuite, elle est quasiment similaire au groupe contrôle. La quantité de mouvement est supérieure après 4 mois d'environ 2,3mm, mais cette augmentation est similaire 2 mois plus tard (107). - Une étude randomisée contrôlée (RCT) en bouche divisée conclue que la rétraction canine est 4 fois plus rapide jusqu'à 2 semaines, puis 3 fois plus rapide entre 2 et 4 semaines et entre 8 et 12 semaines. Aucune différence n'est démontrée entre les hommes et les femmes (108). - Une étude récente détermine que la vitesse de déplacement des incisives, des canines et des premières molaires maxillaires est statistiquement supérieure, avec une augmentation comprise entre 0,1 à 0,2mm/mois par rapport au groupe contrôle. Cependant, ces résultats ne sont pas cliniquement significatifs (109). - La vitesse de DDO est 1,5 à 2 fois supérieure dans le groupe expérimental par rapport au groupe contrôle au cours des 3 premiers mois (110). 	<ul style="list-style-type: none"> - Corticisions : L'étude d'Alikhani et al. décrit une augmentation de la rétraction canine 2,3 fois plus élevée par rapport au groupe contrôle durant le 1^{er} mois (71). - Piézocisions : Les résultats montrent une distalisation canine 2 fois supérieure jusqu'au premier mois et 1,5 fois supérieure par rapport au groupe contrôle au début du deuxième mois (Aksakalli, Calik, Kara, & Ezirganhi, 2015). - Piézocisions : La vitesse de DDO est environ 1,5 fois plus élevée dans le groupe expérimental durant les 3 premiers mois (110).
<p>CONCLUSION : Les corticotomies ou les techniques minimalement invasives semblent augmenter la vélocité et la quantité de DDO par 2 au cours du premier mois (9) avec une légère infériorité pour ces dernières (110). D'après les résultats, cette augmentation varie en fonction du temps (111). Elle semble importante immédiatement après la chirurgie avec un pic de vélocité à 3±1 semaines (111, 112) ce qui corroborerait l'hypothèse que la phase de hyalinisation est plus courte et moins intense. Après un mois, les résultats sont controversés et ne permettent pas de tirer de conclusion solide (9), même si des études trouvent une augmentation dans une moindre mesure de la vélocité jusqu'au 3^{ème} mois (107, 108, 110). De nouvelles études doivent être conduites car la validité scientifique des études, surtout chez l'homme, est faible et manque de données à moyen et à long terme.</p>		

Tableau II. Récapitulatif des études du DDO post-corticotomies et post-techniques mini-invasives

1.3.3 Temps de traitement :

Temps de traitement complet		
	Corticotomies	Techniques mini-invasives
Homme	<ul style="list-style-type: none"> - L'étude de Shoreibah et al. montre une différence significative entre les groupes. La durée moyenne du groupe expérimental est de 17.5 +/- 2.8 semaines, alors que pour le contrôle elle est de 49 +/- 12.3 semaines. Le temps de traitement complet a donc été divisé par presque trois (101). 	<ul style="list-style-type: none"> - D'après une étude RCT le temps de traitement est significativement plus court de 43% pour le groupe piézo-corticision par rapport au groupe contrôle (7).
<p>CONCLUSION : L'évaluation du temps de traitement complet a été moins étudiée. C'est d'ailleurs une des critiques majeure par rapport à ces techniques (113). Aucune étude n'a évalué la qualité finale des traitements en aveugle.</p>		

Tableau III. Récapitulatif des études sur le temps de traitement post-corticotomies et post-techniques mini- invasives

1.4 Mécanismes moléculaires

activation est due à l'augmentation des IL-1, du VEGF ou du TNF et du « transforming growth factor » $\beta 1$ (TGF- $\beta 1$). Des interactions intercellulaires entre les ostéoblastes, les ostéoclastes et les ostéocytes se produisent tout au long du processus (116). Le rôle de ces dernières n'est pas encore très clair mais il se pourrait que les micro-dommages provoqueraient une apoptose ostéocytaire, ce qui entrainerait une libération de RANKL (120). C'est ce phénomène que l'on essaye d'amplifier lors des TO-PC. Les traumatismes tissulaires et les modifications vasculaires issus de cette procédure provoquent une augmentation du ratio RANKL/OPG, de TGF- 1β , de VEGF, des IL-1 et IL-6, ainsi que de TNF- α et des marqueurs de différenciation ostéoblastiques comme l'ostéocalcine, l'ostéopontine et les sialoprotéines osseuses (Figure 18) (120). La durée de cette augmentation n'est pas connue.

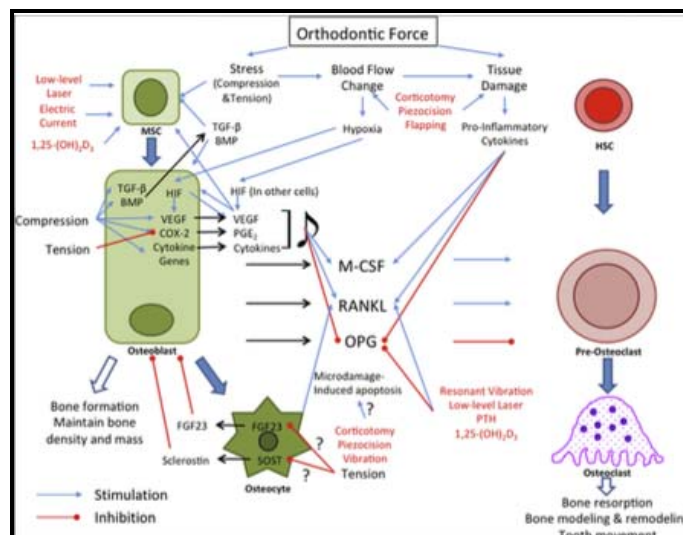


Figure 18. Schéma récapitulatif des mécanismes moléculaires associés aux DDO accélérés (120)

1.5 Rapport bénéfices-risques

Hormis le gain sur le temps de traitement, les PC pourraient avoir plusieurs autres avantages comme la diminution du risque de résorption radiculaire et du risque carieux, ainsi qu'une diminution de la récurrence et une aide pour les ancrages critiques.

- Diminution du risque de résorption radiculaire apicale externe (RRAE) :

Les RRAE sont corrélées à une augmentation du temps de traitement (121-124), à une diminution du remodelage osseux (125), ainsi qu'à une augmentation du phénomène de hyalinisation (126, 127). Hors, tous ces facteurs sont modifiés par les corticotomies ou les PC. Ils peuvent donc expliquer pourquoi aucune résorption importante n'a été décrite après ces procédures chirurgicales (8, 112). D'après certains auteurs, elles seraient même diminuées par rapport aux traitements conventionnels (88, 89, 101, 110). Cependant, une étude récente contredit ces conclusions et décrit une augmentation du risque de résorption radiculaire et ceci d'autant plus que la proximité chirurgicale est importante (128). Les conclusions de cette publication peuvent être discutées car les RRAE sont provoquées en majorités par des lésions piézo-chirurgicales iatrogéniques. Le sujet est donc encore soumis à débat dans la communauté scientifique.

- Risque carieux et de décalcification:

La corrélation entre la durée du temps de traitement et le risque carieux ou de déminéralisation n'est pas claire. L'étude de Zachrisson (129) ne retrouve pas de corrélation entre les deux, contrairement à une étude plus récente où le risque de développer de nouvelles décalcifications augmente de 0.08 par mois de traitement (130).

- Stabilité :

Pour les corticotomies, la stabilité semble être supérieure lorsqu'on les associe à des greffes osseuses par rapport à un TOC (131). La diminution de la récurrence pourrait être expliquée par plusieurs facteurs comme l'augmentation du volume de la corticale alvéolaire (132, 133), la diminution de la mémoire tissulaire engendrée par la chirurgie, et une maturation osseuse plus rapide (94). Pour la piézo-corticision, jusqu'à cette date, aucun article n'a été publié à notre connaissance pour évaluer la stabilité.

- Gestion des ancrages critiques :

Certains auteurs postulent que la valeur d'ancrage relative des dents est diminuée par les corticotomies (134) ou la Piézocision™ (135) en permettant un déplacement plus facile de ces dents, ce qui permettrait de mieux gérer les cas d'ancrage limite. Des recherches avec de bon niveau de preuve doivent être faites pour confirmer cette hypothèse car elle est soumise à discussion. Des études ne retrouvent pas de différence significative entre les groupes (109, 136). D'autres montrent une perte d'ancrage moindre au niveau du groupe expérimental pour les corticotomies (137, 138) et la Piézocision™(139).

Comme toute procédure chirurgicale, les PC présentent des risques :

- Tissu gingival :

D'après trois revues systématiques (80, 112, 140), et deux publications récentes sur la PC (8, 139), il ne semble pas y avoir d'effet délétère majeur sur les paramètres cliniques parodontaux. Cependant, dans l'étude de Charavet et al. près de la moitié (33% des points et 17% des traits) des patients ont eu des brides cicatricielles post-PC (6).

- Douleur :

Contrairement aux corticotomies (108), les techniques minimalement invasives ne semblent pas être significativement plus douloureuses que les TOC (6, 71, 141).

- Vitalité pulpaire :

Les revues systématiques ne relèvent aucune perte de vitalité dans les différentes publications (80, 112, 140). Cependant, c'est un risque de complication inhérent à ce type de chirurgie.

Les avantages potentiels des piézo-corticisions pourraient avoir un réel intérêt médical dans la trousse thérapeutique des orthodontistes, cependant ils doivent être confirmés par des évidences scientifiques solides.

1.6 TVFC et modifications des tissus durs après un traitement d'orthodontie

1.6.1 Résorption radiculaire apicale externe

D'après différentes études, le « Cone Beam Computed Tomography » (TVFC) est un examen complémentaire fiable, reproductible et précis pour quantifier (différence <0.35mm) et détecter les RRAE, ainsi que plusieurs autres paramètres pour la recherche en orthodontie (142). Cette modalité d'imagerie est plus efficace que l'orthopantomogramme (OTP) pour la détection des RRAE (143). Actuellement le « gold standard » reste la radiographie péri-apicale, mais certaines études démontrent que le TVFC est au moins aussi performant voire d'avantage que la radiographie conventionnelle (144-146).

L'incidence et la sévérité des RRAE sont augmentées après un TOC (147). Leur moyenne est de 0.5 à 3mm (148). Les dents qui sont les plus atteintes sont les incisives supérieures avec une moyenne de 1,4mm, surtout les incisives latérales (149). En accord avec la revue systématique de Weltman et al. (147), il a été démontré que le risque de RRAE est associé à la durée du temps de traitement (121-124), au remodelage osseux (125), au phénomène de hyalinisation (126, 127), ainsi qu'à l'augmentation des forces orthodontiques (124). La génétique est également un des facteurs important des RRE, leur héritabilité étant d'environ 70% (150). Le rôle de l'IL-1 dans les RRAE est controversé. Al-Qawasmi et al. (151) retrouvent un lien entre le déséquilibre du gène IL-1 et les RRAE. Hors, une méta-analyse ne retrouve pas de corrélation entre le polymorphisme IL-1 β et les RRAE (152). Les autres gènes candidats sont TNFRSF11A, TNSALP (153) et le P2RX7 (154), ainsi que les variations de l'ostéopontine (rs9138 and rs11730582) (155). Certaines maladies systémiques ou endocrines comme le syndrome de

Turner, la maladie de Paget ou l'hyperparathyroïdisme peuvent également provoquer ces effets secondaires (156).

A l'inverse, la corrélation des RRAE avec la séquence de fil ou le type de boîtier n'est pas évidente, tout comme l'anatomie, les antécédents de traumatisme (147), l'âge (153) et l'ostéopénie (157).

Au niveau moléculaire, plusieurs mécanismes ont été proposés récemment. Les cytokines ont une place centrale dans ce mécanisme. Ils sont résumés dans le schéma suivant (Figure 19) :

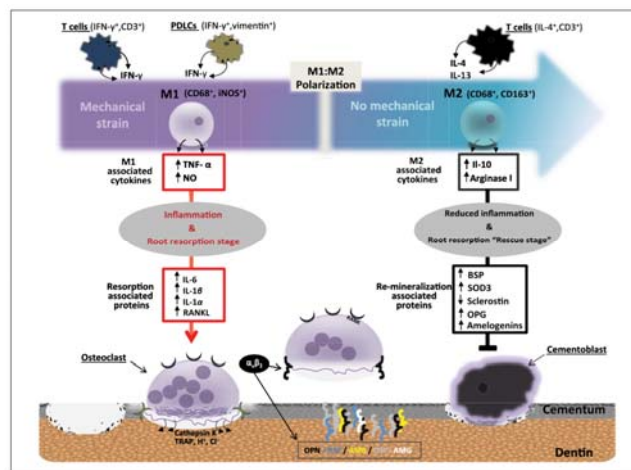


Figure 19. Schéma décrivant le rôle central des macrophages et des cytokines pro-inflammatoires dans les RRAE (119)

1.6.2 Os alvéolaire

Selon Molen, (158), l'utilisation du TVFC dans la recherche orthodontique doit suivre certains principes :

- Modalité d'acquisition :
 - o Les deux tailles de voxel les plus utilisées sont 0,3 et 0,4 mm, ce qui signifie que c'est la plus petite résolution spatiale. Si le but est d'investiguer des structures osseuses plus fines, une résolution plus élevée de voxel doit être utilisée.

- La taille du faisceau (FOV) doit être limitée au volume d'intérêt.
- Toujours pour améliorer la résolution spatiale et avoir la meilleure échelle de gris possible, un capteur 16 bits doit être utilisé.
- Planification de l'acquisition :
 - Si le but est de faire des mesures précises au niveau de l'os alvéolaire, il est préférable d'attendre au moins un an après la dépose des boitiers pour éviter les artéfacts métalliques et pour visualiser l'os mature. En effet, il existe au niveau de l'os ayant subi un remodelage important, une diminution de la densité osseuse temporaire liée à l'activité ostéoclastique (PAR).
 - Si le but est de déterminer le remodelage osseux, donc le PAR, la recommandation est de réaliser l'examen TVFC immédiatement après la fin du traitement actif orthodontique (159, 160).

a) Hauteur et épaisseur de l'os alvéolaire

Par sa reproductibilité et sa précision, le TVFC est une modalité d'investigation radiologique du volume alvéolaire reconnue. Pour se faire, la taille des voxels doit être inférieure ou égale à 0,4mm. La précision des mesures réalisées augmente toutefois avec la résolution spatiale (161-163).

Un traitement d'orthodontie provoque une diminution de la hauteur osseuse buccale au niveau des incisives inférieures qui varie en fonction des études entre 1,12mm (164) et 0,11mm (165). L'épaisseur de la symphyse ou de la corticale et les mouvements de l'apex influencent la quantité osseuse perdue, contrairement à l'angulation de l'axe de l'incisive qui n'est pas corrélée à la perte d'os au buccal (164). D'après une étude sur le chien comparant l'expansion sur fils associée ou non à la PC, il existe une perte osseuse buccale dans les deux groupes, sans différence significative (99).

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. Hypothèses et objectifs

2.1.1. Objectifs :

L'objectif principal était de comparer la durée d'un TO-PC et un TOC.

Les objectifs secondaires dans le groupe expérimental étaient de :

- Évaluer les changements en hauteur et en épaisseur de l'os alvéolaire.
- Mesurer les RREA après les TO-PCs.
- Investiguer le processus inflammatoire pendant les 6 premiers mois, afin d'estimer la durée du PAR.
- Evaluer et comparer la douleur et l'impact sur les activités quotidiennes durant les 7 premiers jours post-chirurgie.
- Déterminer l'acceptation et la satisfaction vis-à-vis les TO-PCs.

2.1.2 Hypothèses de recherche :

Pour répondre à ces objectifs, les hypothèses de recherche étaient :

-Principale :

La durée de la phase active d'un TO-PC était plus courte que pour un TOC.

- Secondaires :

- La hauteur et l'épaisseur de l'os alvéolaire étaient affectées par les TO-PCs.
- Les résorptions radiculaires sont modérées (<2mm ou <grade 2 de Levander et Malmgren) après les TO-PCs.
- Le processus inflammatoire est augmenté de façon transitoire et réversible durant les TO-PC

- La douleur est modérée (≤ 5 EVN) et devient faible (≤ 2 EVN) après 7 jours.
- L'acceptation et la satisfaction des TO-PCs sont élevées ($>75\%$).

Nulle :

La durée de la phase active TO-PC est la même que pour un TOC.

2.2. Méthodologie de recherche

Le protocole expérimental de ce travail de recherche a été approuvé par le comité scientifique et le comité éthique de la recherche en santé de l'Université de Montréal (15-002-CERES-P). (Annexe 1)

2.2.1. Population

2.2.1.1. Critères d'inclusion

Les critères d'inclusion étaient les suivants :

- Classe I squelettique, Classe II ou III légère ($ANB=2\pm 4^\circ$, $Witts=1\pm 4mm$).
- Malocclusions dentaires de classe I, Classe II ou III ($<3mm$) ne nécessitant pas d'extraction ou de chirurgie orthognatique.
- Adulte de 18 à 40 ans.
- Patient en bonne santé.
- Dentition permanente complète.
- Bonne coopération (moins de 5 rendez-vous manqués ou de boitiers décollés et port des élastiques adéquat).
- Bonne hygiène bucco-dentaire.
- Absence de parodontite active, de perte osseuse crestale ou d'infection visible sur le cliché panoramique.

2.2.1.2. Critères d'exclusion

Les critères d'exclusion étaient les suivants :

- Prise régulièrement d'analgésiques et des antidépresseurs.
- Problèmes d'abus d'alcool ou de drogue.
- Patient fumant plus de 10 cigarettes par jour.
- Patiente enceinte.
- Immunodéficiences locale ou systémique.
- Maladie systémique non-contrôlée (exemple : diabète, maladie cardio-vasculaire, *etc.*).
- Problèmes de coagulation ou prenant des anti-coagulants.
- Présence d'infections buccodentaires ou maladie parodontale active non-contrôlées.
- Prise de biphosphonates intraveineux ou prise de biphosphonates oraux depuis plus de 4 ans.
- Prise de corticostéroïdes à long terme.
- Antibio prophylaxie nécessaire avant toute chirurgie et prise d'antibiotiques dans les 6 mois précédant la chirurgie.
- Radiothérapie dans la sphère maxillo-faciale.

2.2.2. Modalités de recrutement

2.2.2.1. Groupe expérimental

La liste des patients adultes (18 à 40 ans) qui étaient candidats à la clinique d'orthodontie de l'Université de Montréal a été sélectionnée à partir de l'ensemble des postulants. Les questions suivantes ont été posées par téléphone :

- 1) Seriez-vous toujours intéressés par un traitement d'orthodontie ?
- 2) Vous a-t-on déjà extrait des dents permanentes, hormis les dents de sagesse?
- 3) Avez-vous une prothèse dentaire en bouche ?
- 4) Avez-vous déjà eu une greffe de gencive ou un traitement pour les maladies de gencive ?
- 5) Etes-vous en bonne santé ?
- 6) Prenez-vous des médicaments ?
- 7) Fumez-vous ?
- 8) Avez-vous pris des antibiotiques dans les 6 derniers mois ?

A l'issu des questions, ils ont été invités à se présenter à la Clinique d'orthodontie de l'Université de Montréal pour un premier examen clinique. Les sujets admissibles ont ensuite eu des examens cliniques, radiologiques et parodontaux complets afin de valider leur inclusion dans l'étude. L'objectif était de recruter 15 patients correspondant aux critères de sélection.

2.2.2.2. Groupe contrôle

Le groupe contrôle a été recruté de façon rétrospective dans les dossiers de rétention de la clinique d'orthodontie de l'Université de Montréal. La période d'inclusion était de 2012 à 2016. Les patients ont donc été traités de façon indépendante avec le même type de boîtiers (SPEED System™, Strite Industries Limited, Shepard, ON, Canada). Les sujets du groupe contrôle devaient répondre aux mêmes critères de sélection que le groupe expérimental sauf l'âge d'inclusion qui commençait à partir de 16 ans afin d'obtenir un nombre suffisant de patients. Le recrutement a été fait de façon consécutive afin de ne pas sélectionner les patients et il s'est arrêté lorsque le nombre de sujet était similaire au groupe expérimental.

2.2.3. Taille de l'échantillon

Le nombre de sujets nécessaire a été calculé avant le début de la recherche. Une taille d'échantillon de 11 par groupe permettaient de rejeter l'hypothèse nulle d'égalité entre les groupes, basée sur des durées moyennes de 18 et 24 mois, avec un écart-type de 4.6 et un pouvoir statistique de 80% ($\alpha=0.05$), en utilisant un test de t pour échantillons indépendants.

2.2.4. Recueil des données

a) Temps de traitement orthodontique

Le temps de traitement orthodontique était comptabilisé en jours, de la pose au retrait des boitiers pour le temps de traitement complet. La fin de la période d'alignement préliminaire des boitiers (PBA) était fixée lors de la mise en bouche du premier fil en acier inoxydable ou en alliage de titane et molybdène (TMA), ou après trois rendez-vous avec le même fil en nickel-titane.

b) Difficulté initiale du cas

La complexité initiale des cas orthodontiques a été évaluée pour les deux groupes, à l'aide du « Discrepancy index » (DI). C'est une mesure internationale qui fait appel à des mesures cliniques et radiologiques (166). Les cas ont été évalués également par un évaluateur externe et la fiabilité inter-évaluateur a été analysée.

c) Qualité finale des traitements

Pour limiter les biais, la qualité finale des traitements du groupe contrôle et du groupe expérimental a été évaluée par un examinateur externe et en aveugle. Ils ont été notés selon l'« American Board of Orthodontics Grading System » (ABO-GS) sur des modèles numériques (Cadent®, iTero™, Align Technology B.V., Amsterdam, Pays-Bas) des moulages en plâtre finaux. Cette classification est reconnue internationalement et elle permet d'évaluer cliniquement

et radiologiquement la qualité des résultats d'un traitement d'orthodontie avec une bonne fiabilité inter-examineur (167). Pour garder l'objectivité de l'examineur, les modèles n'étaient pas notés sur la partie radiologique.

d) Evaluation de la douleur postopératoire et impact sur la vie quotidienne

Le patient était invité à compléter le questionnaire d'évaluation de la douleur (Annexe 3) : juste avant la chirurgie, 3 heures après, et une fois par jour pendant 7 jours post-chirurgie. La douleur au niveau des dents, des gencives et des joues a été mesurée à l'aide d'une échelle visuelle analogue (VAS) de 1 à 10. Plusieurs études ont démontré la validité, la simplicité et la reproductibilité de leur utilisation pour quantifier la douleur (168, 169). Le nombre d'analgésiques consommés y était également consigné pour chaque enregistrement, ainsi que l'impact sur les activités quotidiennes.

e) Satisfaction

Pour évaluer la satisfaction des patients vis-à-vis du traitement d'orthodontie associé à la piézo-cortison, un questionnaire était remis au patient le jour de la dépose des boîtiers. Il devait y répondre dans les 7 jours suivants.

f) Evaluation des modifications osseuses et dentaires

En comparant le TVFC pré- et post-traitement, les variations de hauteur et d'épaisseur de l'os alvéolaire et de la corticale ont été mesurées, ainsi que les RREA. Afin de préserver l'aveuglement de l'examineur, les modèles n'ont pas été évalués sur la partie radiologique car il n'y avait que le groupe expérimental qui avait des panoramiques issues d'un TVFC. Le groupe contrôle avait des panoramiques conventionnelles ce qui pouvait les différencier. La fiabilité intra- et inter-évaluateur des mesures a été évaluée à l'aide d'un coefficient de corrélation ainsi que par la formule de Dalberg. La méthodologie de Garlock et al. a été utilisée et modifiée

(164). Les mesures étaient réalisées de la deuxième prémolaire à la dent controlatérale au maxillaire et à la mandibule. Pour chaque dent, l'image TVFC a été orientée selon l'axe long de la dent dans le plan mésio-distal et bucco-lingual, ainsi qu'au centre de la dent au niveau axial. Une fois orientée, la coupe bucco-linguale passant par l'axe long de la dent a été utilisée pour tracer une ligne de référence correspondant à la perpendiculaire à l'axe long de la dent et passant par la jonction amélo-cémentaire buccale.

- RREA :

La longueur radiculaire était mesurée au dixième de mm et correspondait à la distance entre le point le plus apical et la ligne de référence.

Pour compléter cette mesure, les RRAE étaient évaluées selon l'index de Levander et Malmgren qui les classifient en 5 stades (170) : (0) pas de résorption, (1) faible résorption avec une longueur radiculaire identique mais avec un contour irrégulier, (2) résorption modérée avec moins de 2mm de perte radiculaire et un apex avec un contour presque droit, (3) résorption sévère, avec une perte d'environ un tiers de la longueur radiculaire, (4) résorption extrême, avec la perte de plus d'un tiers de la racine. La fiabilité de ces évaluations est démontrée par différentes publications (143, 145).

- Hauteur et épaisseur de l'os alvéolaire :

	Mesures	Abréviations
Ligne de référence	Perpendiculaire à l'axe long de la dent passant par la ligne de jonction amélo-cémentaire buccale	LDR
Longueur de la racine	LDR - point le plus apical	LR
Index de Levander and Malmgren	Grade 0, 1, 2, 3 et 4	LM
Hauteur buccale	LDR - point le plus coronaire de la corticale buccale	HB
Hauteur linguale	LDR - point le plus coronaire de la corticale linguale	HL
Épaisseur à mi-hauteur de l'os alvéolaire	Point externe de la corticale buccale - point externe de la corticale linguale	EMH

Epaisseur à mi-hauteur de la corticale buccale	Point externe de la corticale buccale - point interne de la corticale buccale	EMHCB
Epaisseur à mi-hauteur de la corticale linguale	Point externe de la corticale linguale - point interne de la corticale linguale	EMHCL
Epaisseur à l'apex de l'os alvéolaire	Point externe de la corticale buccale - point externe de la corticale linguale	EA
Epaisseur à l'apex de la corticale buccale	Point externe de la corticale buccale - point interne de la corticale buccale	EACB
Epaisseur à l'apex de la corticale linguale	Point externe de la corticale linguale - point interne de la corticale linguale	EACL
Distance de l'apex à la corticale buccale	Apex - bord externe de la corticale buccale	DACB

Tableau IV. Descriptions des mesures et abréviations

Les mesures ont ensuite été déterminées de la façon suivante :

- Pour la hauteur :

La hauteur de l'os alvéolaire par rapport à la LR a été mesurée au dixième de mm et correspond à la perpendiculaire du point le plus coronal de l'os alvéolaire jusqu'à la LR au buccal et au lingual (Figure 20 et 21).

- Pour l'épaisseur :

Les mesures se font parallèlement à la ligne de référence et ont été réalisées au niveau apical et à mi-distance de la hauteur radiculaire post-traitement afin que les RRAE ne puissent pas les influencer. L'épaisseur de la corticale buccale et linguale a été mesurée ainsi que l'épaisseur complète de l'os alvéolaire. Si l'apex dépassait le niveau du plan palatin, l'épaisseur de la corticale buccale était uniquement mesurée (Figure 20 et 21).

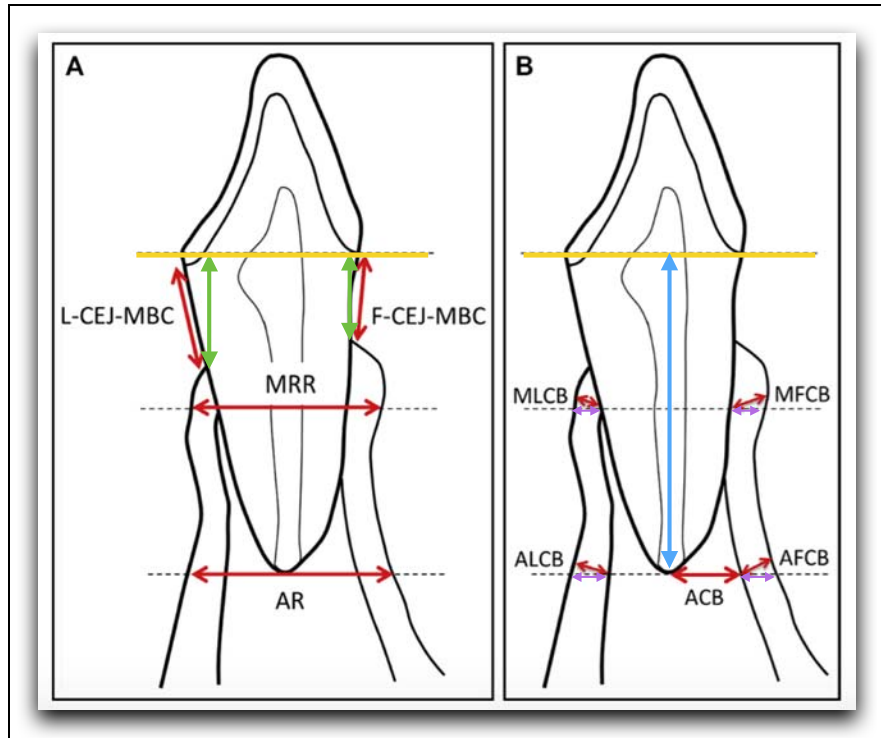


Figure 20. Mesures sur le TVFC par la technique de Garlock et al. (164) modifiée à partir de la ligne de référence (-). (A) hauteur (-) et épaisseur de l'os alvéolaire (-). (B) Épaisseur de l'os cortical (-) et de la longueur radiculaire (-).

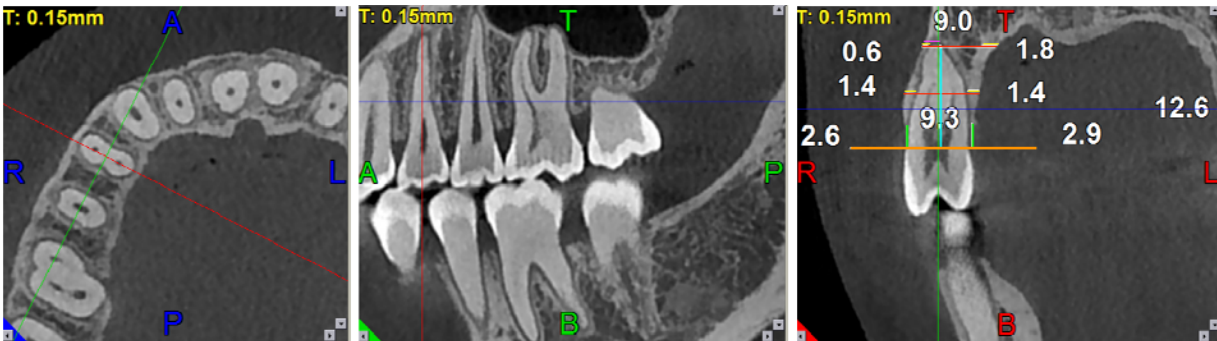


Figure 21. Exemple des mesures sur la dent 24

- Cicatrisation de la corticale et lésion iatrogénique.

La cicatrisation de la corticale osseuse et la présence de lésion iatrogénique étaient évaluées à partir des images axiales du TVFC. Les coupes étaient orientées selon le plan palatin et le plan occlusal. L'analyse fût réalisée sur l'ensemble des coupes de l'apex des dents maxillaires à l'apex des dents mandibulaires (Figure 22).

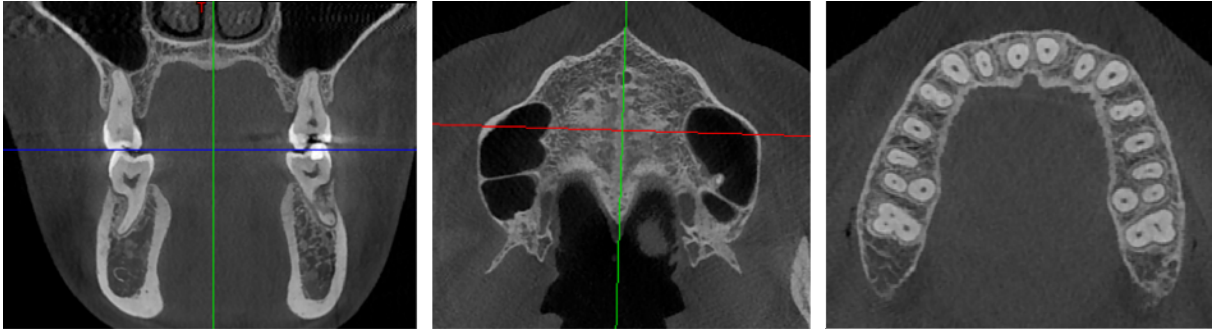


Figure 22. Exemple de recherche de lésions iatrogéniques

g) Marqueurs inflammatoires

Pour le prélèvement du fluide gingival, une variante de la technique modifiée par Uematsu et al. (171) issue de Offenbacher (172) a été utilisée. Les prélèvements ont été faits juste avant la chirurgie pour servir de niveau de référence, puis à 1, 3, 5, 8, 16, et 24 semaines. Chaque patient a été comparé à lui-même. La plaque supra-gingivale était enlevée précautionneusement sans toucher la gencive afin de diminuer le risque de contamination bactérienne. Les prélèvements ont été réalisés sur la dent 22. Chaque dent était isolée avec un rouleau de coton pour diminuer le risque de contamination salivaire et était séchée légèrement à l'aide d'une seringue air-eau. Un papier parodontal stérile (PerioPaper Strips™, Oraflow Inc, Hewlett, NY, USA) a été utilisé pour chaque prélèvement et la procédure a été répétée trois fois. Le papier parodontal était inséré délicatement dans le sulcus gingival d'environ 1mm et était laissé jusqu'à ce qu'il y ait au minimum un quart du papier parodontal qui soit imbibé. Le papier parodontal était ensuite placé dans une fiole et conservé à -80°C. Les biomarqueurs étaient ensuite détectés à l'aide de la technique Luminex® multi-analytique (Merck GaA, Darmstadt, Allemagne). Pour pallier à l'absence de quantification du volume du fluide gingival, une quantification totale des protéines fut réalisée. Chaque échantillon était analysé deux fois et la moyenne a été utilisée.

h) Expression protéique

La détermination des profils d'expression des gènes inflammatoire et ceux du remodelage osseux sera analysée par Microarray. Les ARN totaux seront également extraits à partir des tissus et les gènes identifiés, seront regrouper (dans des clusters fonctionnels), puis les résultats seront confirmés, gène par gène, par des méthodes telles que la quantification par PCR quantitative. Cette analyse qualitative et quantitative nous permettra d'analyser l'expression et le profil d'expression des facteurs biologiques intervenant dans le processus inflammatoire, le remodelage alvéolaire et l'efficacité thérapeutique.

2.2.5. Schéma expérimental

2.2.5.1. Phase préopératoire

a) Bilans initiaux

Un examen orthodontique complet a été réalisé sur chacun des patients. Il correspondait à :

- Examen clinique complet extra- et intra-oral, incluant un examen parodontal complet (profondeur de poche et le niveau de la gencive marginale par rapport à la jonction amélo-cémentaire) ;
- Trois photographies extra-orales (profil, face au repos et face au sourire) et six photos intra-orales (latérale droite, latérale gauche, de face, du surplomb horizontal, du maxillaire et de la mandibule) ;
- Trois empreintes maxillaires et mandibulaires en alginate (moulages d'étude, guides radiologiques et pour le collage indirect) ;
- Examen radiologique à l'aide d'un cliché panoramique et céphalogramme latéral.

b) Réalisation du guide radiologique

Sur les modèles en plâtre, une gouttière thermoformable d'une épaisseur de 0.02mm

(Temporary Splint Material™, Patterson Dental, St. Paul, MN, U.S.A.) a été réalisée de la deuxième molaire à la dent contro-latérale sur les deux arcades.

En analysant les contours radiculaires sur le modèle, en extrapolant les prolongations radiculaires des couronnes et en s'appuyant sur la radiographie panoramique, les traits de PC étaient marqués à l'aide d'un crayon carbone en inter-proximal sur la surface buccale. Des cônes de gutta percha (Diadent Group International, Chungcheongbuk-do, Korea) ont ensuite été placés à l'aide d'une cire (Patterson® Utility Wax Strips, Patterson Dental) en interproximale des dents du mésial de la deuxième molaire au mésial de la dent contralatérale, au maxillaire et à la mandibule (figure 23). L'idée était de créer un guide radiologique avec des marqueurs interproximaux radio-opaques afin de déterminer la localisation la plus sécuritaire des PC.



Figure 23. Patient 1. Guide radiologique. Modèle en plâtre jaune avec le dessin au crayon carbone des traits d'incision potentiels. Modèle avec la gouttière thermo formable et les cônes de gutta percha fixés sur les traits à l'aide de la cire.

c) Acquisition TVFC initiale

Une acquisition TVFC (NewTom 5G®, Newtom, Verona, Italie) a été faite avec le guide radiologique en bouche. Les constantes d'acquisition étaient les mêmes pour chaque patient :

- Tension : 110 kV
- Temps d'exposition: 5.4 s
- Produit du temps d'exposition : 85.63 mAs (moyenne)

- Champ : 12 X 8 cm
- Taille des Voxels: 0.150 mm
- Nombre de coupes : 548

d) Examen des coupes d'acquisition du TVFC et planification chirurgicale

A partir d'une analyse rigoureuse des coupes TVFC, les incisions osseuses étaient planifiées et standardisées en fonction de l'anatomie radiculaire et osseuse de chaque patient (figure 24). Elles faisaient 5mm de hauteur et étaient situées 3mm en dessous de la partie la plus apicale de l'os crestal. La profondeur variait de 0.5 à 5mm. Les dimensions sont résumées dans le tableau V. Pour certains patients, compte tenu de la proximité radiculaire au niveau des incisives inférieures, l'ensemble des incisions piézo-électriques n'a pas pu être réalisé.

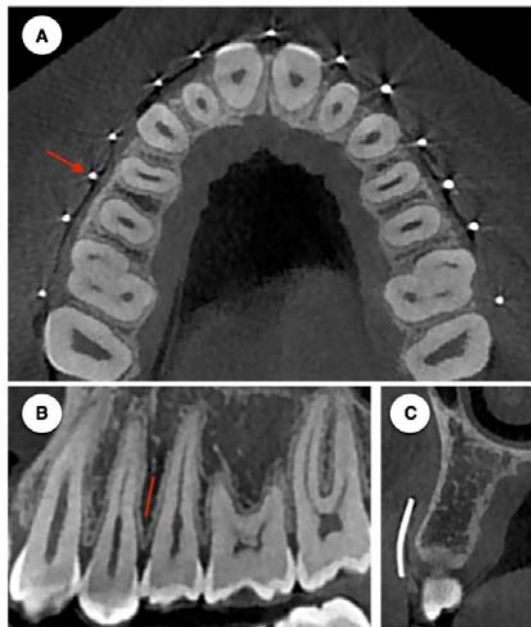


Figure 24. Patient 1. Guide radiologique.: (A) coupe axiale du maxillaire supérieur localisé 3mm sous le rebord osseux crestal montrant la localisation des marqueurs des incisions osseuses, (B) coupe paramédiane sagittal du maxillaire supérieur quadrant 4(C) Coupe bucco-linguale du processus alvéolaire entre les dents 14 et 15.

	Profondeur moyenne (mm, min-max)	Non réalisé (n, %)
Maxillaire en antérieur (n=60)*	2.1 (0.5-4)	2 (3.3)
Maxillaire en postérieur (n=96)*	2.9 (1-4)	6 (6.26)
Mandibule en antérieur (n=60)*	1.7 (0.5-5)	15 (25)
Mandibule en postérieur (n=96)*	3.3 (1-5)	0 (0)

Tableau V. Dimensions des piezo-corticisions (mm). *Missing data

e) Réalisation du guide chirurgical

Les cônes de gutta-percha étaient utilisés comme des références fixes pour couper le guide exactement où les incisions ont été envisagées. Dans certains cas, les incisions devaient être déplacées en mésial ou en distal et/ou légèrement angulées pour éviter toute lésion radiculaire. Le guide radiologique était ensuite transformé en guide chirurgical en le coupant à l'aide d'un disque carbure monté sur pièce à main droite.

f) Réalisation du collage indirect

Les boîtiers du système SPEED™ (SPEED System™, Strite Industries Limited, Shepard, ON, Canada) avec une prescription ROTH étaient placés de façon idéale sur un modèle de pierre verte (Die-Keen® Green, Patterson Dental) préalablement isolé par un agent séparateur (Alcote™ Separating Agent, Dentsply Sirona, York, PA, U.S.A.). Le composite Transbond™XT (3M Unitek, Monrovia, CA, U.S.A.) a été utilisé comme adhésif pour les boîtiers. En fonction des cas, ils étaient positionnés de la deuxième molaire à la deuxième molaire controlatérale pour les patients normo ou hypodivergents ou jusqu'à la première pour les hyper-divergents. Un double mélange de polyvinyl siloxane (PVS) (Flexitime®, Heraeus-Kulzer GmbH, Hanau, Allemagne) est appliqué au niveau des boîtiers. Après la prise, une résine d'acrylique (Sr Ivolen®, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) était appliquée pour augmenter la rigidité. Le modèle était placé ensuite dans l'eau chaude pendant 5 minutes puis l'empreinte PVS est démoulée avec l'ensemble des boîtiers. La coquille de collage indirect était ensuite polie (Figure

25).

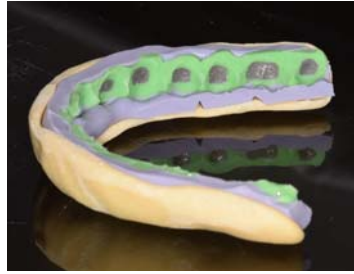


Figure 25. Coquille maxillaire de collage indirect

2.2.5.2. Phase péri-opératoire

La séquence péri-opératoire a été effectuée de la façon suivante :

- a) Remise du questionnaire sur la douleur

Après des explications sur les modalités de réponse au questionnaire. Il était ensuite remis au patient pour qu'il réponde au temps T0.

- b) Prélèvement de fluide gingival

Le fluide gingival a été recueilli au niveau de la 22 à l'aide d'une pointe de papier stérile (PerioPaper Strips™ Oraflow Inc., Hewlett, NY, U.S.A.) et placé dans des fioles de stockage (figure 26).



Figure 26. Patient 1. Prélèvements du fluide gingivale au niveau des dents 22 et 26 et fioles de stockage

- c) Préparation chirurgicale et anesthésie

Le patient s'est rincé avec un bain de bouche au gluconate de chlorhexidine 0,12% (Peridex™, 3M, St. Paul, MN, USA) pendant 1 minute. L'anesthésie maxillaire et mandibulaire était réalisée par des infiltrations locales et régionales de bupivacaine HCL 0.5% avec épinephrine 1:200000

(Marcaine™, Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, France). En complément, deux blocs alvéolaires inférieurs et deux blocs longs buccaux bilatéraux étaient réalisés, ainsi que des infiltrations intrapapillaires au lingual.

d) Biopsie

La biopsie était prélevée au niveau de la face bucco-mésiale de la première molaire supérieure droite à l'aide d'un biopsie punch de 2mm (Miltex®) (Figure 27). Elle a ensuite été immédiatement placée dans le TRIzol™ puis stockée dans un congélateur à -80°C. La procédure était répétée à 8 semaines.



Figure 27. Patient 1. Prélèvements de tissu gingival en regard de la face bucco-mésiale de la dent 16.

e) Incisions osseuses piézo-électriques

Les guides chirurgicaux étaient placés en bouche sur leur arcade respective (Figure 28A). Des incisions muco-périostées de 5mm étaient réalisées à l'aide d'une lame 15 à travers le guide (Figure 28B). Suite au retrait du guide (Figure 28C), l'épaisseur gingivale était mesurée à l'aide d'une sonde parodontale (Figure 28D). Les incisions osseuses étaient ensuite réalisées à l'aide d'un insert piézoélectrique de 3mm de hauteur et de 0.35mm de largeur (OT7S-3 Piezosurgery®, Mectron, Piezosurgery Inc., Columbus, OH, U.S.A.) avec des repères de profondeur tous les 2mm. L'insert était placé orthogonalement par rapport à la surface gingivale (Figure 28E) et l'incision osseuse variait en profondeur, dépendamment de l'espace alvéolaire interproximal disponible. Les piézocisions étaient faites du mésial de la deuxième molaire à la dent controlatérale. Aucune incision gingivale n'a été suturée (Figure 28F) et aucune greffe osseuse ou de

tissus mous n'a été réalisée. Si besoin, une compression forte à l'aide d'une compresse stérile était faite pour réaliser l'hémostase. La même procédure chirurgicale était conduite à la mandibule. Deux compresses froides étaient remises au patient pour diminuer l'enflure postopératoire.

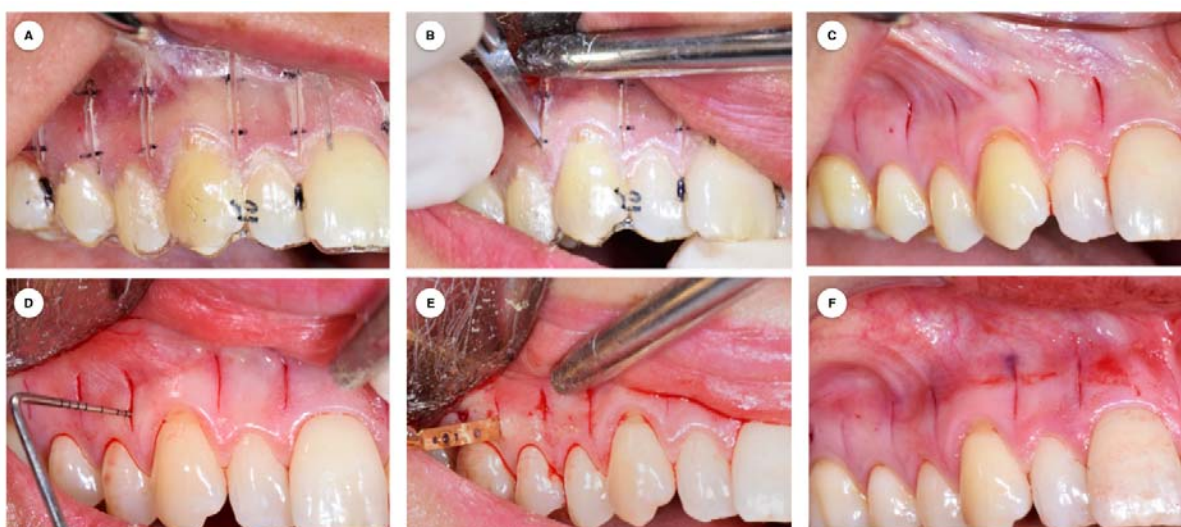


Figure 28. Patient 1. Protocole chirurgicale de la piézo-corticision. (A) Mise en bouche du guide chirurgical. (B) Incision à la lame 15 au travers du guide (C) Retrait du guide. (D) Mesure de l'épaisseur gingivale. (E) Incisions Piézo-électrique. (F) Fin de la procédure chirurgicale.

f) Prescriptions postopératoires

Le patient était invité à prendre un acétaminophène 500mg immédiatement après la chirurgie et trois prescriptions lui était remises :

- Un comprimé d'acétaminophène 500mg toutes les 4 heures pendant 48 heures puis en fonction de la douleur.
- En cas de forte douleur, une combinaison d'acétaminophène 325mg avec de la codéine 20mg.
- Bain de bouche au gluconate de chlorhexidine 0,12% à utiliser 2 fois par jour pour 1 minute pendant 7 jours.

g) Mise en bouche des boitiers

Un écarteur jugal type Nola était mis en bouche (Great Lakes Orthodontics, Tonawanda, NY, U.S.A.). Un gel à mordançage d'acide phosphorique à 37,5% (Kerr Co., Orange, CA, U.S.A.) était appliqué sur les dents pendant 30 secondes puis rincé. Après avoir séché, un apprêt (Assure® Plus, Reliance, Itasca, IL, U.S.A.) était appliqué. Les boitiers (SPEED System™, Strite Industries Limited) étaient ensuite collés à l'aide d'adhésif auto-polymérisable (Sondhi™ Rapid-Set, 3M Unitek). La coquille de transfert était retirée après 3 minutes ainsi que les excès de résine. Un fil 0.018" coaxial en alliage nickel-titane (Supercable™, Strite Industries Limited) était mis en place de la première molaire à la dent controlatérale sur les deux arcades (Figure 29). Une trousse d'hygiène était remise au patient ainsi que des explications sur les mesures d'hygiène et les restrictions alimentaires associées aux traitements d'orthodontie. Les instructions postopératoires étaient également revues avec le patient.

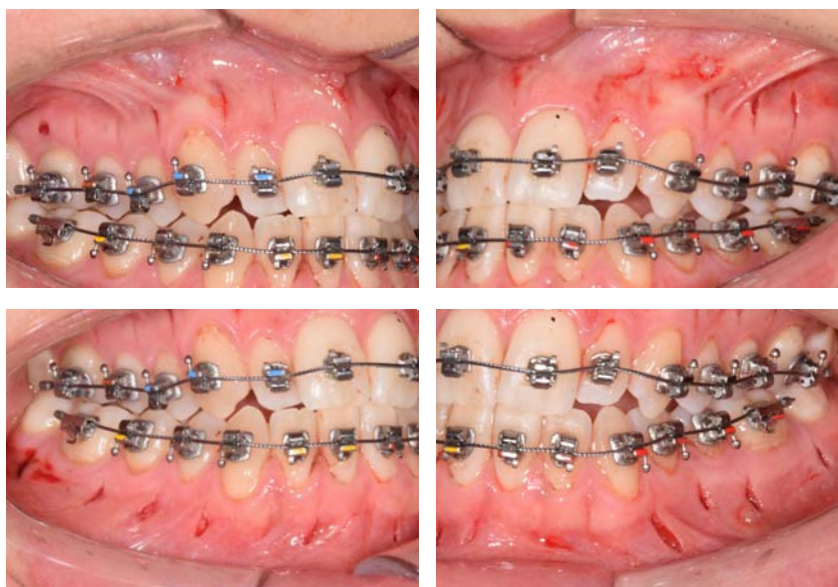


Figure 29. Patient 1. Photographies intraorales des 4 quadrants immédiatement après la pose des boitiers orthodontiques

2.2.5.3. Phase postopératoire

La période post-opératoire s'étend de la pose des boitiers à la fin du traitement d'orthodontie actif.

a) Fréquence des rendez-vous

Le patient était revu après 1 semaine pour contrôler la cicatrisation, récupérer le questionnaire sur la douleur et pour faire les prélèvements du fluide gingival, puis à 3, 5 et 8 semaines afin de changer les fils orthodontiques si possible, et pour faire les prélèvements du fluide gingival. Ensuite, il était suivi toutes les 3 ± 1 semaines jusqu'à la fin du traitement actif.

b) Séquence de fils

Sauf pour le premier fil, la séquence de fil a été spécifique pour chaque patient en fonction des nécessités biomécaniques de chacun.

c) Fin du traitement

La décision de la fin du traitement actif fut prise lorsque les résultats fonctionnels et esthétiques étaient jugés satisfaisants. Des empreintes en alginate pour les fils linguaux ont alors été réalisées. La dépose des boitiers était planifiée dans la semaine suivante et un bilan comprenant les éléments suivant était réalisé :

- Empreintes en alginate pour les modèles finaux étaient effectuées, ainsi qu'une cire d'occlusion,
- Trois photographies extra-orales (profil, face au repos et face au sourire) et six intra-orales (latérale droite, latérale gauche, de face, du surplomb horizontal, du maxillaire et de la mandibule),
- Radiographie céphalométrique de profil.

d) Protocole de rétention

Le protocole de rétention des sujets du groupe expérimental était le suivant :

- Un fil lingual maxillaire et mandibulaire .018 TMA de canine à canine,
- Un appareil amovible de type Clearbow™ (PWG Orthodontic Specialties LTD, Dorval, Canada) au maxillaire. Il pouvait être « biteplate » si les patients avaient un overbite important initialement.
- Une gouttière thermoformable de 0.4mm d'épaisseur (Essix®, Dentsply Sirona Orthodontics Inc., Sarasota, FL, U.S.A.) était réalisée directement à la clinique d'orthodontie le jour de la dépose des boitiers pour la mandibule.

e) Acquisition TVFC finale

Le TVFC final a été réalisé dans les 7 jours suivant la dépose des boitiers sur la même machine que le TVFC initial tout en conservant des variables d'acquisition identiques.

2.3. Statistiques

Un test exact de Fisher a été utilisé afin de comparer les groupes pour le sexe. Pour chaque variable, un test de Shapiro-Wilk a été utilisé pour évaluer la normalité des distributions. Si les distributions étaient normales, un test de t a été utilisé en se basant sur la comparaison des moyennes. Dans le cas contraire, un test de Mann-Whitney a été utilisé ainsi que les médianes.

Un double test de t a été utilisé pour comparer le DI, l'âge, le PBA, le temps de traitement global, le nombre total de rendez-vous, le score ABO-GS. Pour analyser le nombre de boitiers décollés et de rendez-vous manqués, un test de Mann-Whitney a été employé. Pour les marqueurs de l'inflammation, un test non paramétrique de Brunner-Langer a été utilisé ainsi qu'un test de Dunnett. Les variables issues de l'analyse des images TVFC ont été comparées à l'aide d'un test de t.

Des coefficients de corrélation ont été utilisés pour vérifier la fiabilité des mesures ainsi que la

formule de Dahlberg pour déterminer l'erreur de mesure aléatoire pour les données issues du TVFC. Le seuil de signification statistique était fixé à 0,05.

2.4. Rôle du candidat à la maîtrise

Le rôle du candidat a été de:

- Établir le protocole de recherche;
- Constituer le groupe expérimental et le groupe contrôle;
- Réaliser les examens orthodontiques;
- Réaliser les traitements orthodontiques;
- Réaliser les mesures sur les images TVFC;
- Planifier la coordination entre les services de parodontologie, de radiologie et d'orthodontie de l'Université de Montréal;
- Faire les prélèvements du fluide gingival;
- Faire les biopsies;
- Réaliser le formulaire de consentement;
- Obtenir le consentement libre et éclairé du patient.

3. RÉSULTATS

3.1. Résultats cliniques

3.1.1. Flux de patients

Pour le groupe expérimental le flux de patients s'est fait de la façon suivante (Figure 30) :

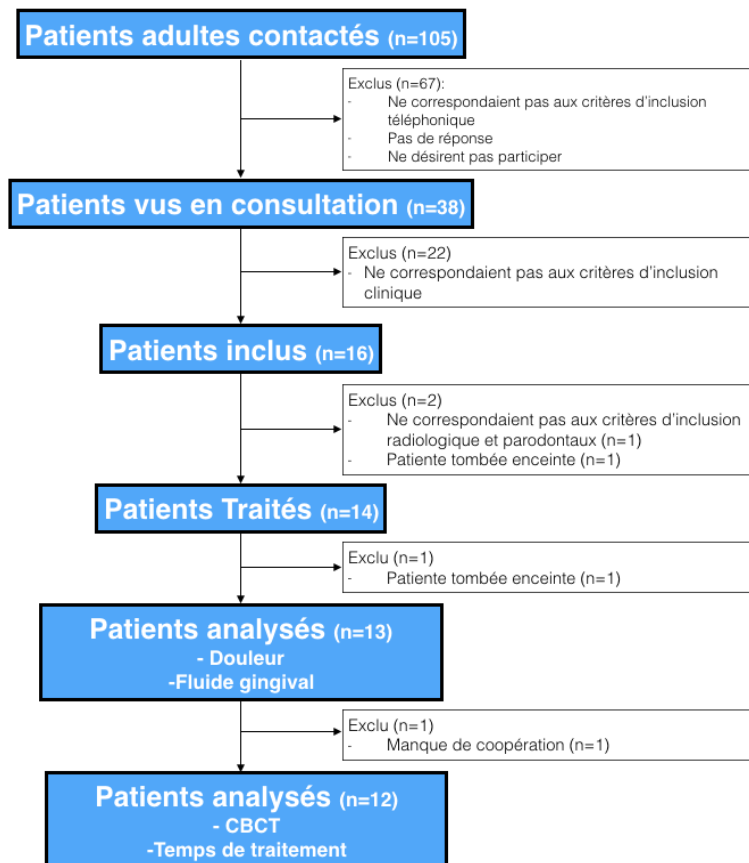


Figure 30. Flux de patient du groupe expérimental

Pour le groupe contrôle, le flux de patients était le suivant (Figure 31) :

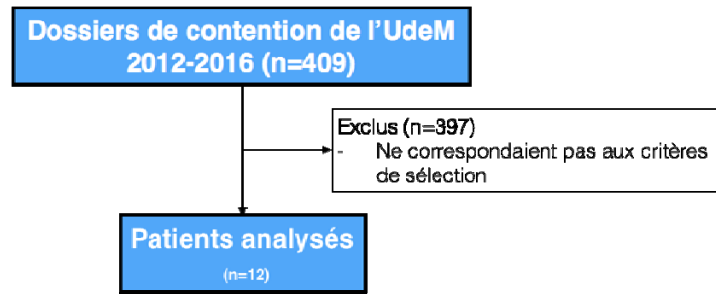


Figure 31. Flux de patient du groupe contrôle

3.1.2. Caractéristiques des patients

	Age en années	Sexe	Score DI	Nombre de RDV manqués	Nombre de boîtiers décollés	Score ABO-GS	Nombre de RDV total
Groupe TO-PC (n=12)	28,0 (35-18)	4H:8F	16,8 (6-29)	0,0 (0-3)	0,0 (0-1)	25,5 (14-33)	21,45 (16-28)
Groupe TOC (n=12)	17,1 (16-18)	2H:10F	9,3 (4-19)	1,0 (0-3)	1,0 (0-5)	21,8 (11-35)	21 (12-27)
Valeur p	<0,001	0,670	0,004	0,341	0,023	0,256	0,796

Tableau VI. Caractéristiques des groupes expérimental et contrôle (Min-Max).

Les caractéristiques des patients sont résumées dans le tableau VI. Pour le DI, le score du coefficient de corrélation inter-classe était de 0,980. Les modèles finaux ont été notés en aveugle par un évaluateur externe calibré. Son coefficient de corrélation intra-classe était de 0,982 et de 0,880 pour l'inter-classe.

3.1.3. Comparaison du temps de traitement

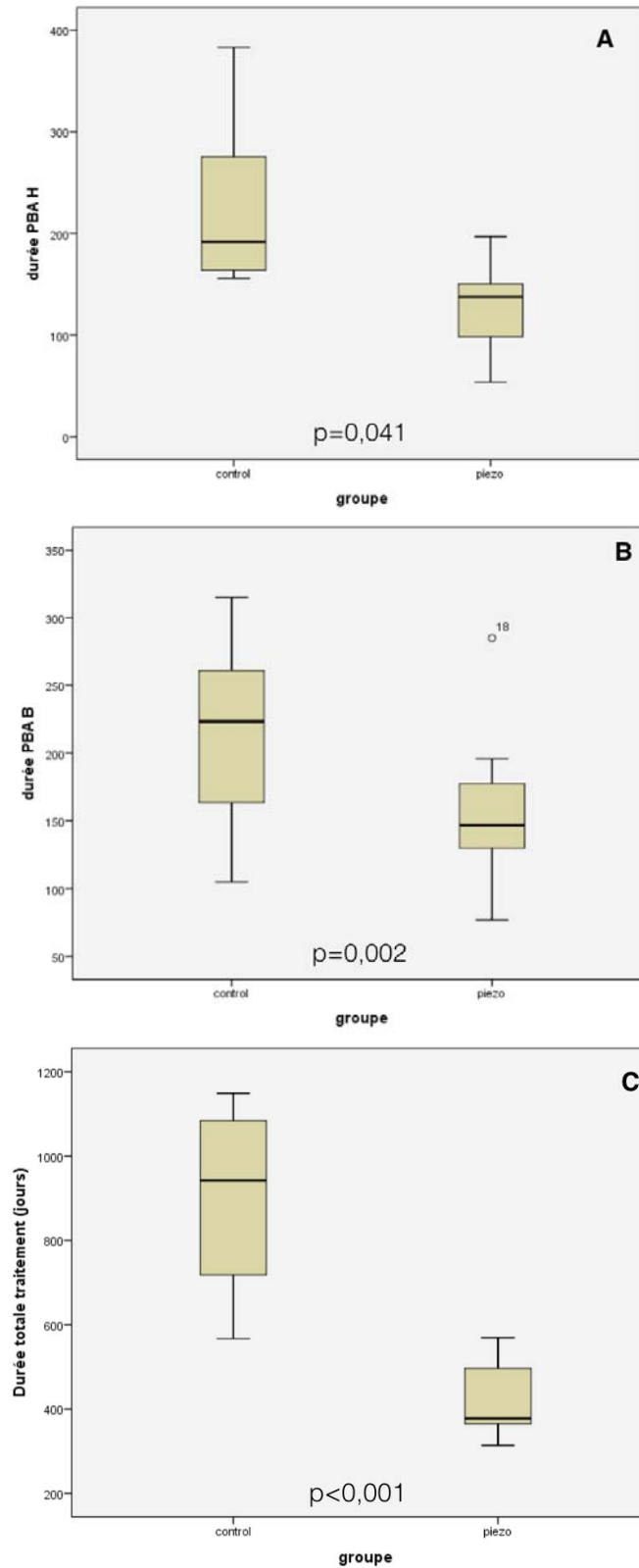
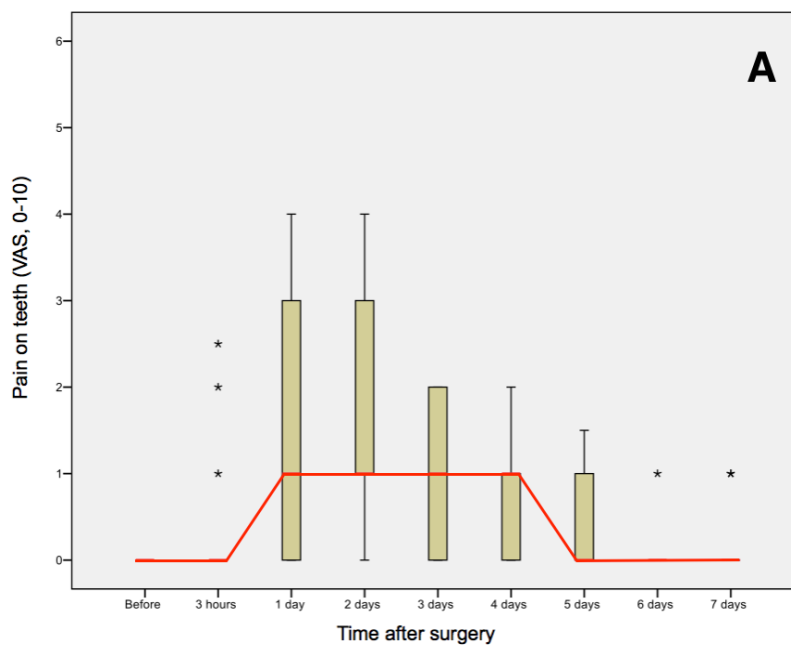


Figure 32. Box plot comparant les temps de traitements de l'alignement préliminaire des boitiers du maxillaire (A) et de la mandibule (B) ainsi que la durée complète du traitement (C) entre le groupe expérimental et le groupe contrôle.

Le temps moyen du PBA à la mandibule et au maxillaire a été significativement plus court dans le groupe PC-TO de 28% et de 43%, respectivement. Le temps de traitement complet a également été réduit significativement dans le groupe expérimental de 53% (Figure 32).

3.1.4. Douleur associée



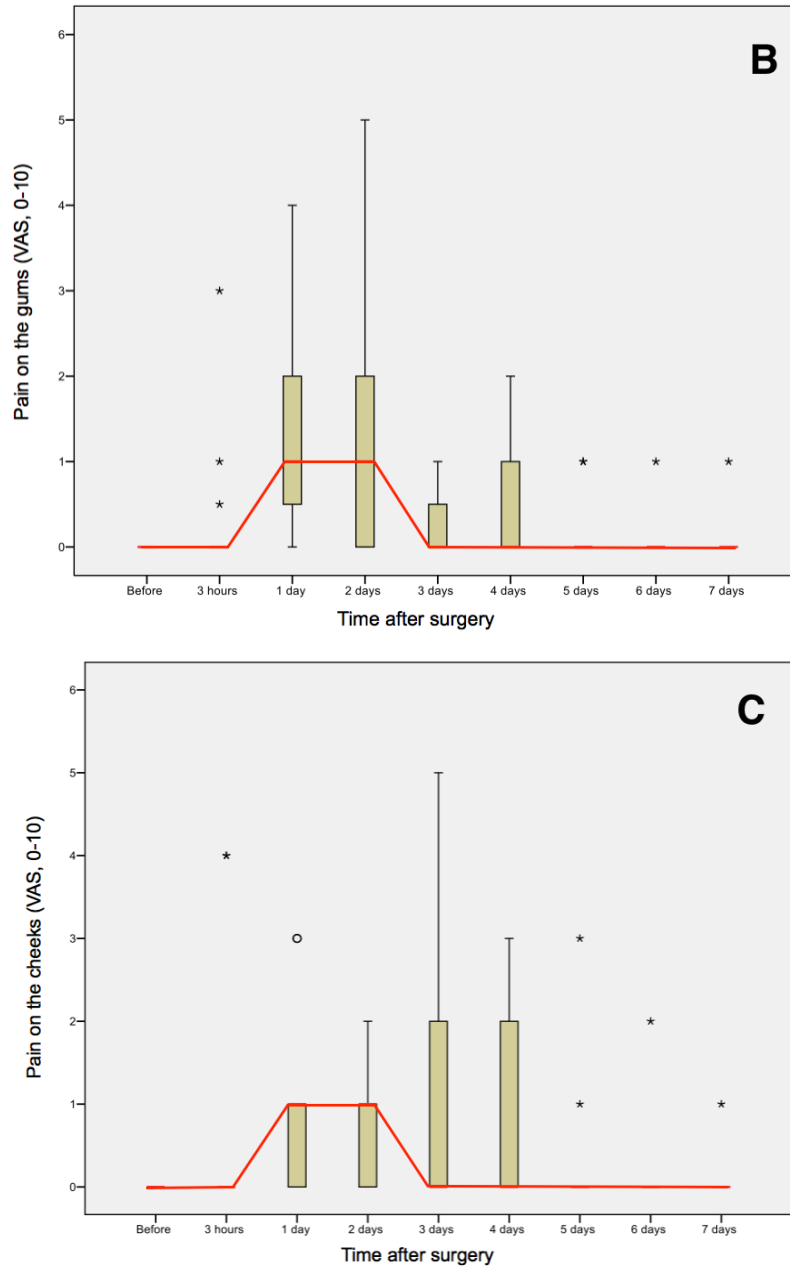


Figure 33. Box plot évaluant la douleur médiane dans le groupe expérimental durant la première semaine post-chirurgie sur (A) les dents, (B) la gencive et (C) et les joues. *^o données aberrantes.

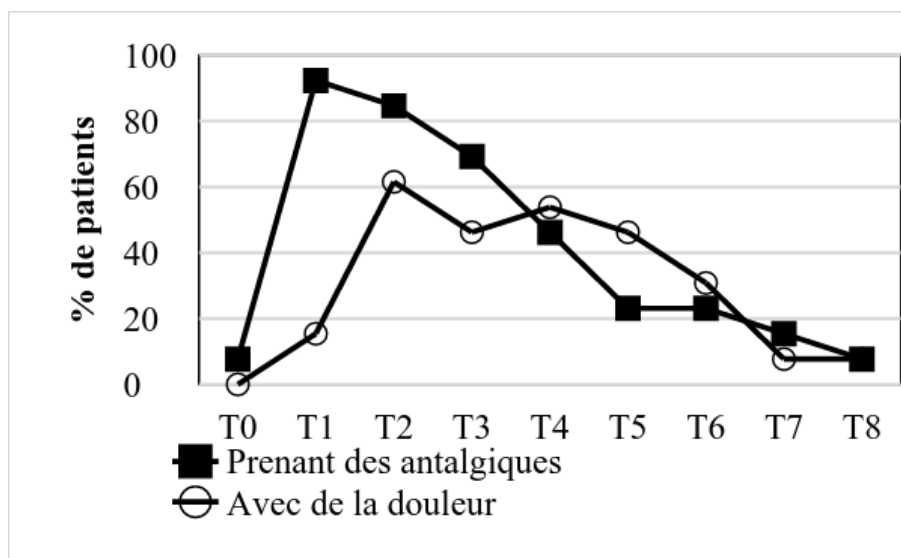


Figure 34. Proportion de participants dans le groupe expérimental qui ont pris ≥ 1 analgésique par rapport à ceux qui ont ressenti de la douleur

La douleur associée aux dents était faible (VAS = 1/10) pendant quatre jours après la chirurgie avant de disparaître (VAS = 0/10) (Figure 33A). Pour le tissu gingival (figure 33B) et les joues (figure 33C), le score médian de la douleur était similaire (VAS = 1/10) et elle a disparu au troisième jour postopératoire. Le pourcentage de patients ayant déclaré une réponse « oui » dans le questionnaire était plus élevé à T2 (61,5%) et a diminué graduellement après trois jours (Figure 34). La proportion de patients prenant des analgésiques a atteint un maximum trois heures après la chirurgie (92,3%) et a diminué de façon drastique jusqu'au quatrième jour postopératoire (Figure 34). La consommation médiane globale d'acétaminophène était de 3,5 g avec une grande variation interindividuelle (1-8,5). Les analgésiques ont été pris seulement pendant les trois premiers jours postopératoires et aucun des patients n'a indiqué avoir pris la combinaison d'acétaminophène et de codéine.

3.1.5. Impact sur la vie quotidienne

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Difficultés fonctionnelles									
Parler	0 (0)	10 (76.9)	5 (38.5)	3 (23.1)	3 (23.1)	2 (15.4)	2 (15.4)	1 (7.7)	1 (7.7)
Mastiquer	1 (7.7)	11 (84.6)	10 (76.9)	11(84.6)	10 (76.9)	10 (76.9)	10 (76.9)	9 (69.2)	8 (61.5)
Déglutir	0 (0)	5 (38.5)	1 (7.7)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Impact sur les activités quotidiennes									
Douleur	0 (0)	2 (15.4)	3 (23.1)	4 (30.8)	1 (7.7)	2 (15.4)	1 (7.7)	1 (7.7)	0 (0)
Mastication	1 (7.7)	10 (76.9)	10 (76.9)	9 (69.2)	10 (76.9)	10 (76.9)	10 (76.9)	8 (61.5)	6 (46.2)
Parole	0 (0)	7 (53.8)	5 (38.5)	3 (23.1)	3 (23.1)	2 (15.4)	2 (15.4)	1 (7.7)	0 (0)
Déglutition	0 (0)	5 (38.5)	1 (7.7)	0 (0)	1 (7.7)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Activité récréationnelle	0 (0)	1 (7.7)	2 (15.4)	1 (7.7)	1 (7.7)	1 (7.7)	1 (7.7)	0 (0)	0 (0)
Au travail	0 (0)	1 (7.7)	4 (30.8)	4 (30.8)	3 (23.1)	2 (15.4)	1 (7.7)	1 (7.7)	1 (7.7)
A l'école	0 (0)	1 (7.7)	1 (7.7)	1 (7.7)	1 (7.7)	0 (0)	1 (7.7)	0 (0)	0 (0)
Durant le sommeil	1 (7.7)	1 (7.7)	2 (15.4)	2 (15.4)	1 (7.7)	1 (7.7)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Socialement	0 (0)	1 (7.7)	1 (7.7)	3 (23.1)	0 (0)	1 (7.7)	1 (7.7)	1 (7.7)	0 (0)
Autre	0 (0)	0 (0)	1 (7.7)	1 (7.7)	0 (0)	1 (7.7)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

Tableau VII. Évaluation de l'impact de la PC sur les activités quotidiennes (n, %)

L'ensemble des résultats est présenté dans le tableau VII. La mastication a été l'activité quotidienne la plus affectée par les TO-PCs.

3.1.6. Lésion iatrogénique des TO-PC



Figure 35. Nécrose de la dent 11

Une nécrose de la dent numéro 11 a été constatée après 4 mois de traitement. L'analyse du TVFC de cette dent n'a rapporté aucune lésion piézo-chirurgicale.

3.1.7. Acceptation et satisfaction

Après une semaine, douze patients sur treize (92,3%) ont répondu qu'ils pourraient répéter la PC et 100% des patients étaient satisfaits par les TO-PCs.

3.2. Tissus minéralisés

3.2.1. Fiabilité des mesures

Les résultats des différentes variables sont résumés dans le tableau 8. Les fiabilités intra- et inter-évaluateurs étaient excellentes, sauf pour l'index de Levander et Malmgren. Concernant les erreurs aléatoires, elles étaient toutes inférieures à 0,4mm (Tableau VIII).

	ICC intra-classe	ICC inter-classe	Dalhberg intra-évaluateur	Dalhberg inter-évaluateur
LR	0,984	0,988	0,214	0,194
LM	0,845	0,690		
HB	0,982	0,836	0,211	0,342
HL	0,942	0,893	0,242	0,336
EMH	0,991	0,984	0,182	0,252
EMHCB	0,889	0,848	0,160	0,206
EMHCL	0,945	0,912	0,168	0,223
EA	0,986	0,958	0,248	0,396
EACB	0,916	0,817	0,150	0,229
EACL	0,938	0,753	0,177	0,345
DACB	0,992	0,980	0,089	0,140

Tableau VIII Description des erreurs de méthode aléatoires et de la fiabilité intra- et inter-évaluateur.

3.2.2. Résorptions radiculaires apicales externes (RRAE)

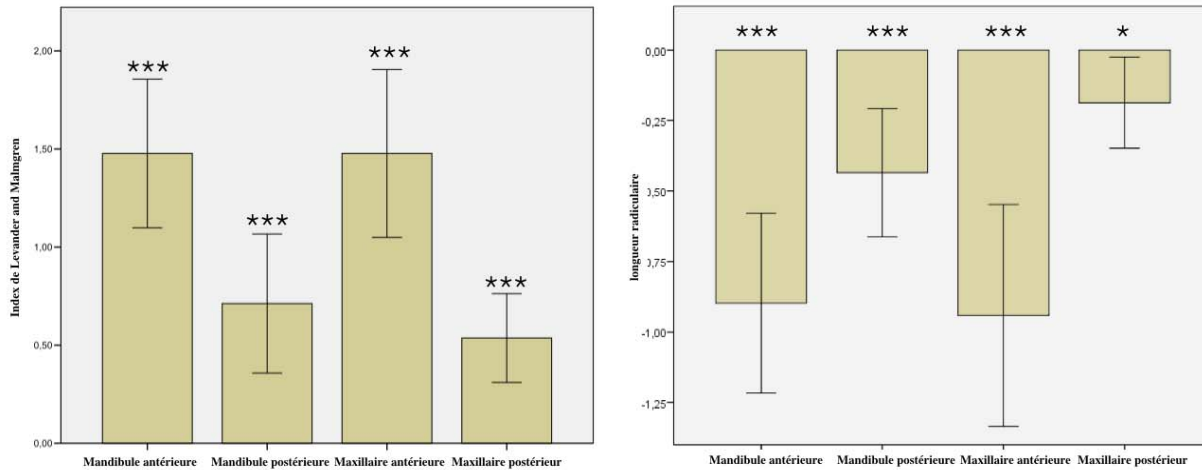


Figure 36. Box plot démontrant l'augmentation de l'index de Levander et Malmgren et la diminution moyenne de la longueur radiculaire (mm) dans le groupe expérimental (* $p < 0.05$, *** $p < 0.005$).

Les RRAE étaient statistiquement significatives et se sont produites sur la plupart des dents traitées. En moyenne, elles étaient faibles à modérées dans les sextants antérieurs et négligeables à faibles en postérieur (Figure 36).

3.2.3. Changements au niveau de la hauteur de l'os alvéolaire

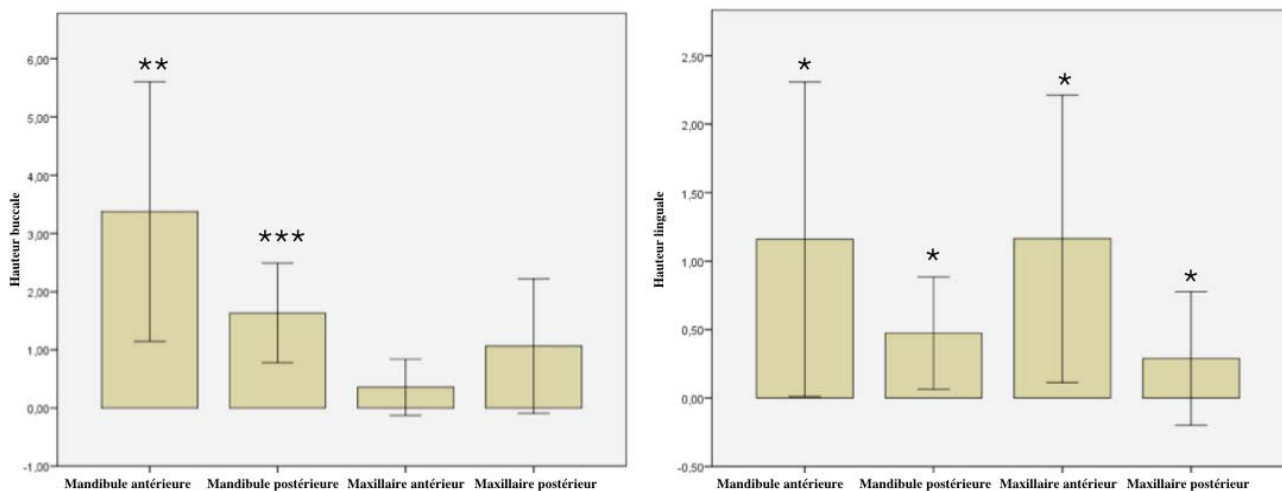
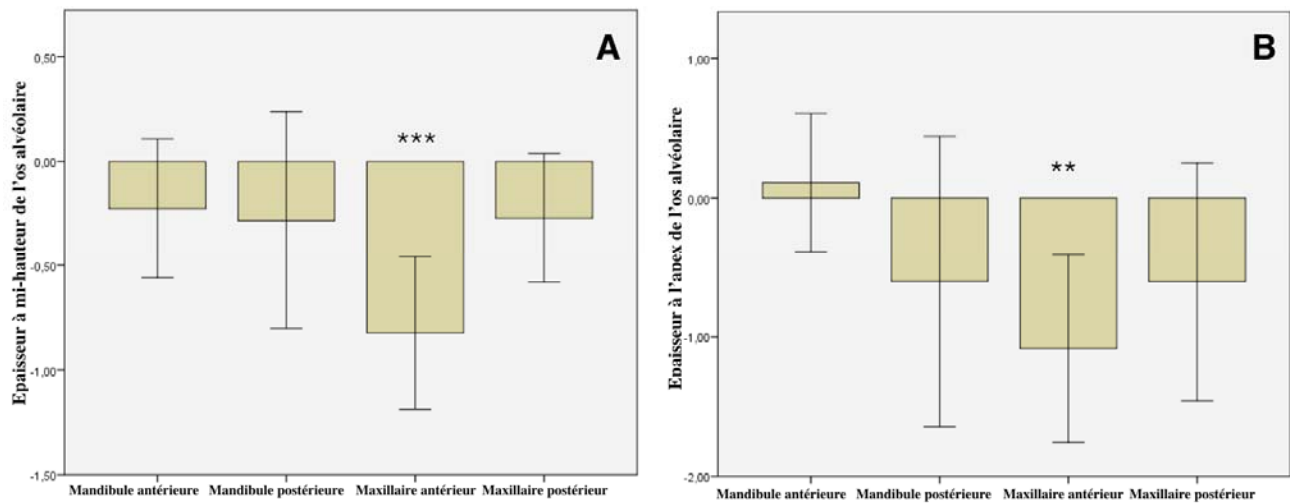


Figure 37. Box plot démontrant la diminution de la hauteur de l'os alvéolaire au buccale et au linguale dans le groupe expérimental (mm) (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$).

Les déhiscences osseuses alvéolaires étaient plus importantes au buccal des incisives inférieures, avec notamment des pertes de hauteur moyennes de 3,3mm (Figure 37).

3.2.4. Changements au niveau de l'épaisseur de l'os alvéolaire



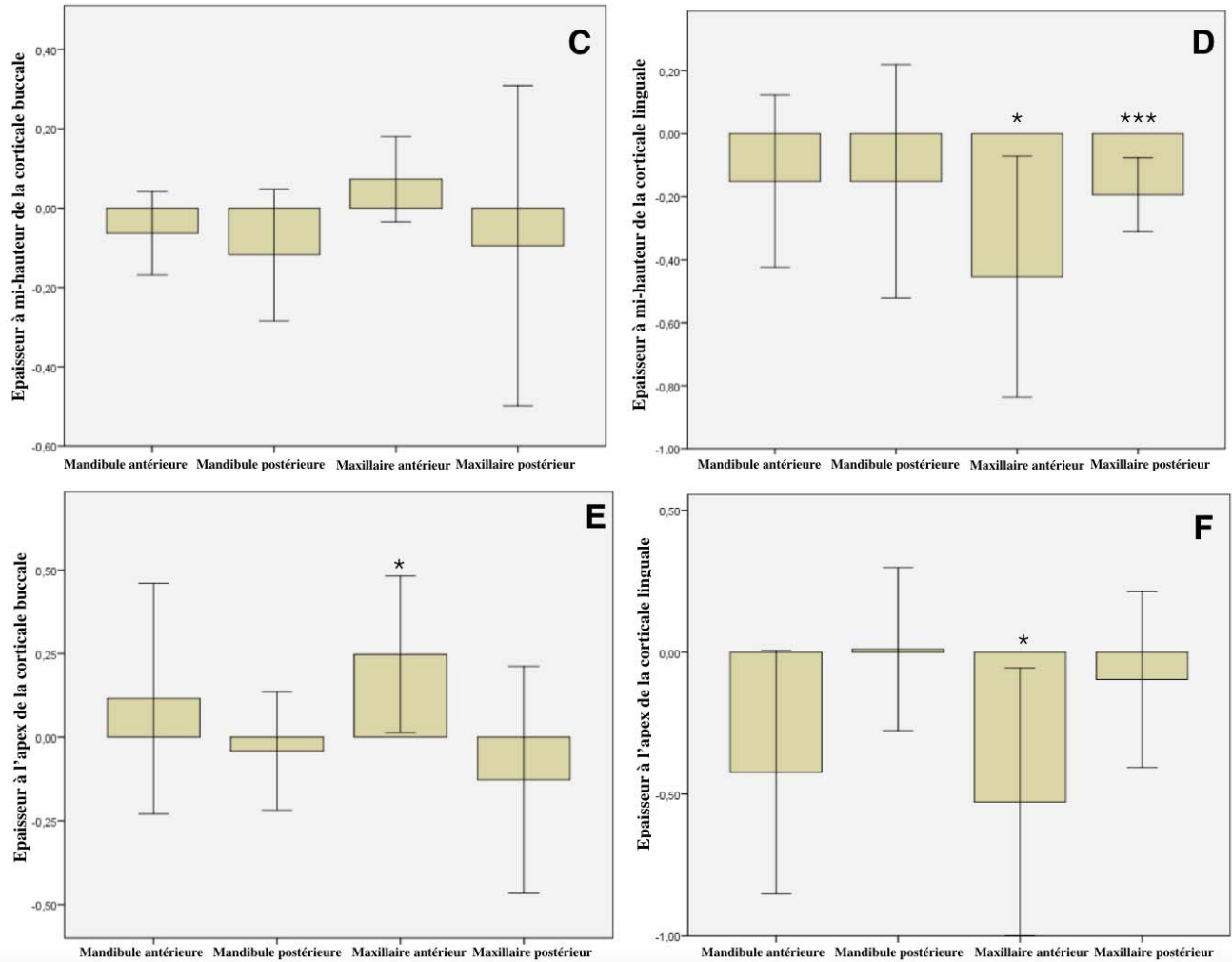


Figure 38. Box plot démontrant les modifications de l'os alvéolaire en épaisseur à mi-hauteur en mm (A, C, D) et à l'apex (B, E, F) pour le groupe expérimental. Une valeur positive indique une augmentation et une valeur négative une diminution (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$).

Aucune variation statistiquement significative de l'épaisseur de l'os alvéolaire n'a été retrouvée, sauf au niveau des incisives maxillaires où une diminution d'environ 1mm a été observée. A ce niveau, l'épaisseur corticale linguale a diminué de près de 0,5mm ($p > 0,05$), alors que l'épaisseur de la corticale buccale au niveau apical a augmenté de 0,25mm ($p > 0,05$) (Figure 38).

3.3.3 Déplacement des apex radiculaires

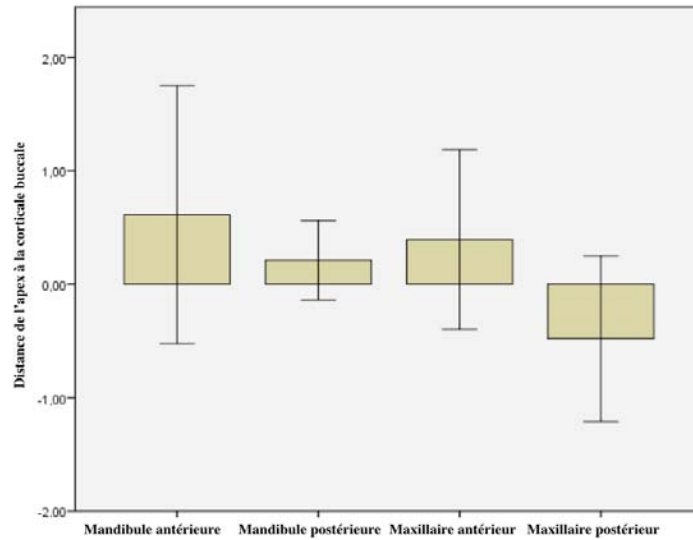


Figure 39. Box plot démontrant la distance des apex à la corticale buccale pour le groupe expérimental.

La distance des apex par rapport au bord externe de la corticale buccale n'a pas significativement changé avant et après le traitement.

3.3.4 Lésions iatrogéniques piézo-chirurgicales des TO-PC

Une seule lésion radiculaire piézo-chirurgicale a été notée. Elle était minime (0,5mm de large, 0,9mm de profondeur et 5mm de hauteur) et elle n'a pas eu de conséquence clinique pour la patiente (Figure 40). Par ailleurs, une cicatrisation partielle de la corticale buccale a été observée au niveau de quatre incisions piézo-électriques (Figure 40).

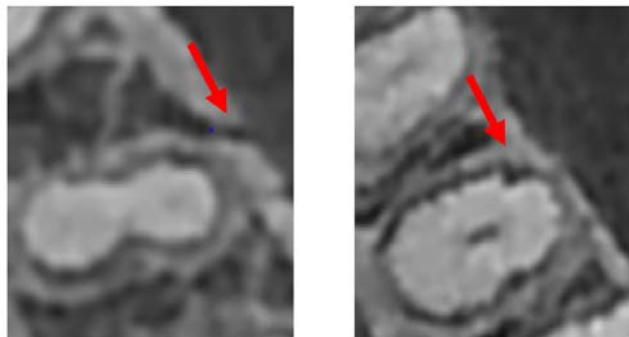
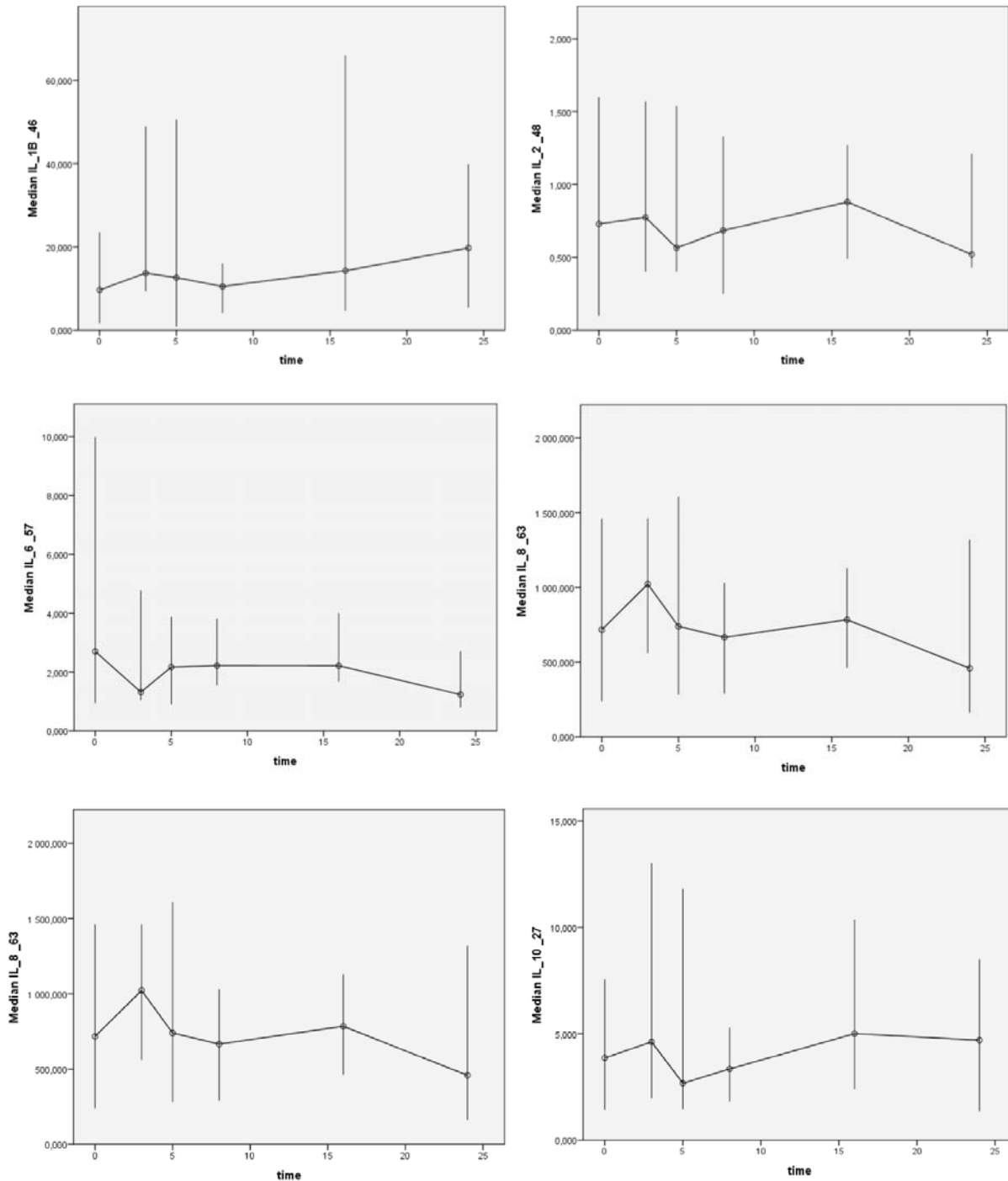
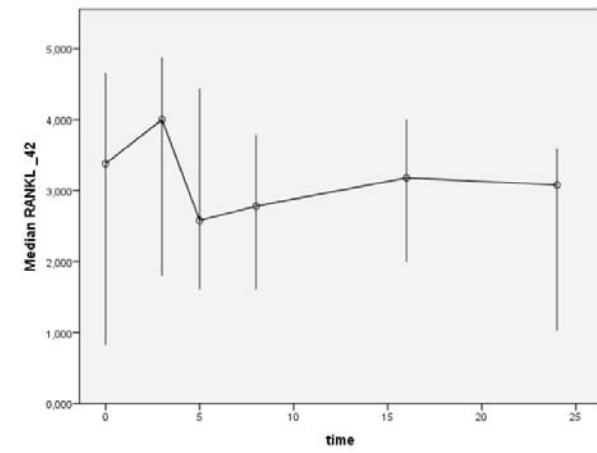
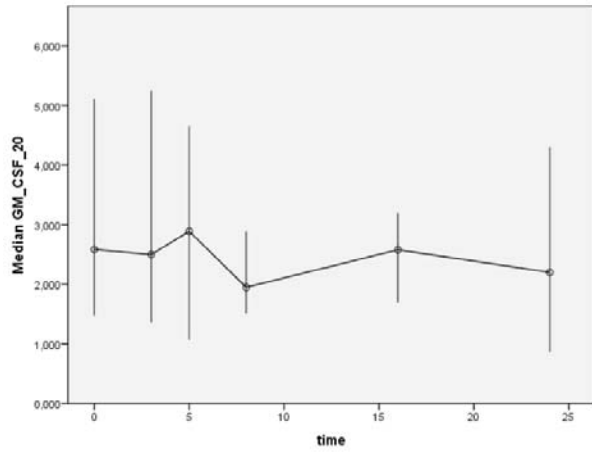
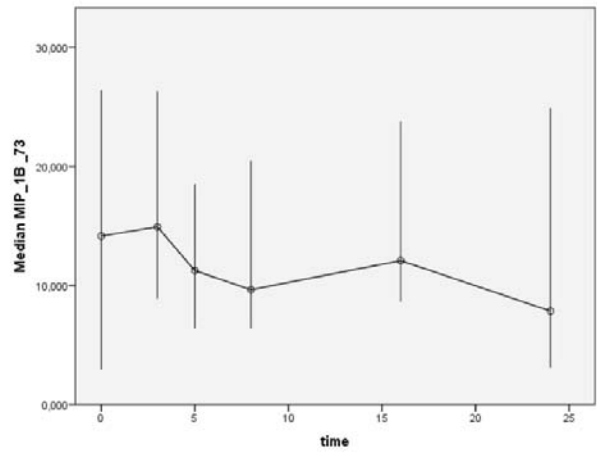
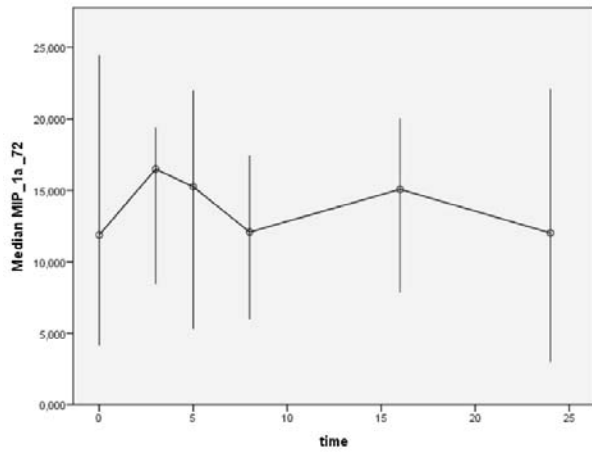
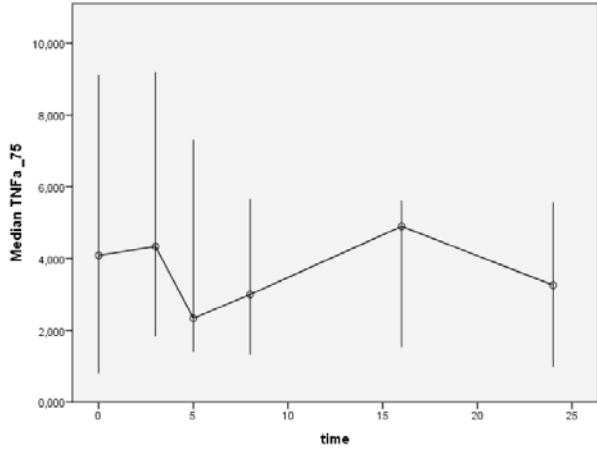
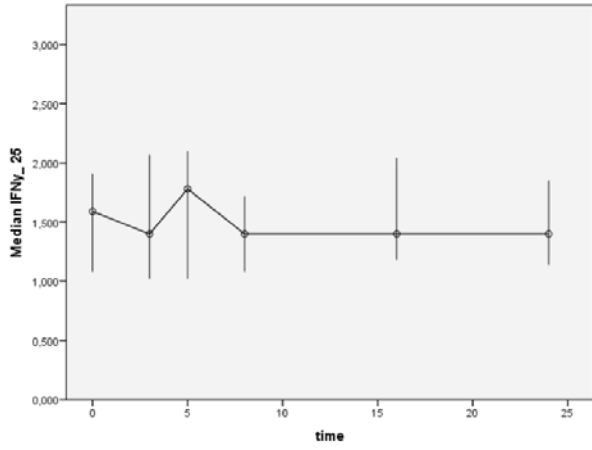


Figure 40. Lésions piézo-chirurgicales iatrogéniques des TO-PCs

3.4 Marqueurs inflammatoires





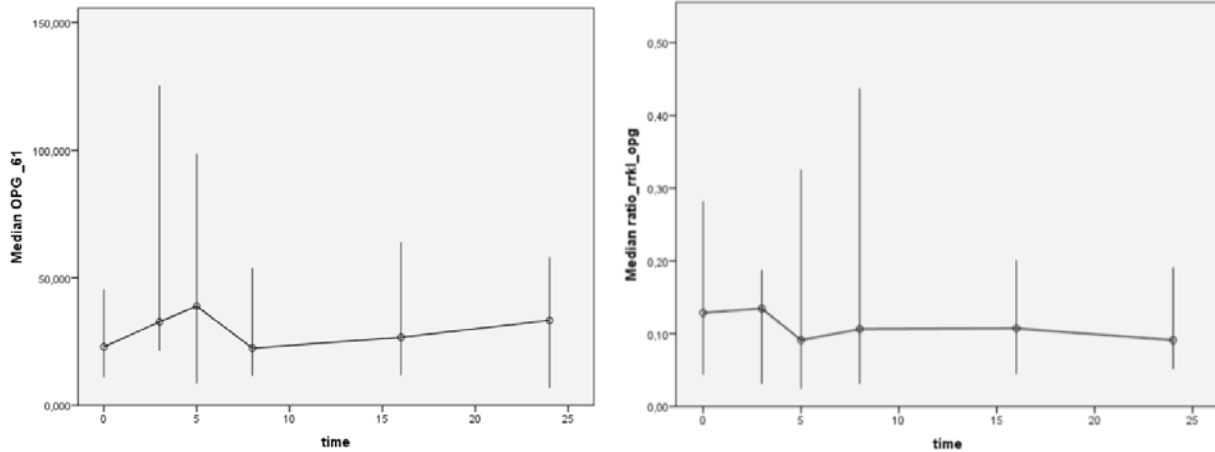


Figure 41. Concentration médiane (pg/ μ L) avec l'intervalle de confiance 95% des marqueurs de l'inflammation.

Les courbes des biomarqueurs inflammatoires décrivent en générale deux pics à 3 et 16 semaines (Figure 41). Cependant, ces variations ne sont pas statistiquement significatives, ni au cours du temps, ni par rapport à leurs valeurs initiales (Test de Dunnett $p > 0,05$ et test de Brunner Langer $p > 0,05$).

3.5 ARN

L'ARN était dégradé sur six des douze biopsies. L'analyse génétique par microarray n'a donc pas pu être réalisée

4 DISCUSSION

L'objectif de l'étude était de comparer la durée des TO-PCs et des TOCs. Le temps de traitement a été 53% plus court dans le groupe expérimental avec une durée moyenne de 14,1 mois contre 29,9 mois dans le groupe contrôle (Figure 32). Ces moyennes étaient plus importantes que celles décrites dans la littérature (13), probablement parce que le volet thérapeutique de ce projet a été réalisé par un résident en cursus de formation en milieu universitaire. Cette situation pourrait également expliquer pourquoi le nombre moyen de rendez-vous a été de 21 dans les deux groupes alors qu'en moyenne 17 rendez-vous sont nécessaires pour un TOC (13). Les groupes étaient comparables, sauf pour l'âge, le DI et le nombre de boîtier décollé. Concernant l'âge, la littérature mentionne qu'à partir du moment où l'on est en dentition permanente, l'âge n'a que peu d'influence sur la durée des traitements (14, 174). Par contre le DI et le nombre de boîtiers décollés pourraient avoir une influence sur la durée du traitement (14, 173). Chaque point de DI augmente en moyenne le temps de traitement d'une dizaine de jours tandis que chaque boîtier décollé augmente la durée du traitement en milieu universitaire de 30 jours environs (173, 174). Le groupe expérimental a une moyenne de 7 points de DI en plus, alors que le groupe contrôle avait une médiane d'un boîtier de décollé en plus. Il y a donc une différence potentielle de 40 jours en défaveur du groupe expérimental.

La qualité finale des traitements a fait l'objet d'une évaluation particulière en comparant les TOCs avec les TO-PCs. A notre connaissance, c'est la première fois qu'une telle comparaison est réalisée, permettant ainsi d'éviter certains biais, notamment la nécessité de comparer des groupes avec des finitions orthodontiques similaires.

La durée des PBA était significativement plus courte dans le groupe expérimental aussi bien pour l'arcade dentaire supérieure qu'inférieure avec une diminution de 43% et de 28% respectivement. La différence d'amplitude de réduction de la durée des APB entre les deux arcades pourrait résulter non seulement du fait que l'encombrement mandibulaire était plus important dans le groupe expérimental mais aussi parce que 25% des incisions piézo-chirurgicales à la mandibule n'ont pas pu être réalisées à cause des proximités radiculaires des incisives.

Une des limites de l'étude était que les patients n'ont pas été vus à la même fréquence entre les deux groupes. Dans le groupe contrôle, ils étaient vus toutes les 6 semaines environ tandis que dans le groupe expérimental ils étaient vus toutes les 2 à 3 semaines. Cette limite pourrait expliquer pourquoi la durée du traitement a été diminuée de 53% et que de 30 à 40% environ pour les PBA. Ce n'est probablement pas les dents qui se sont déplacées plus rapidement à la fin du traitement mais plutôt la fréquence plus rapprochée des rendez-vous lors de la finition qui a permis d'accélérer encore le traitement. Cette fréquence différente des rendez-vous pourrait expliquer pourquoi Charavet et al. (2016) ont constaté une diminution de 43% du temps de traitement (6). Des travaux devraient être menés pour déterminer si les patients ne devraient pas être vus de manière plus rapprochée et ceci même pour les TOC.

Le guide chirurgical développé dans le cadre de ce projet de recherche clinique semble relativement novateur et sécuritaire. Son intérêt était de diminuer le risque de contact des racines avec le système piézoélectriques. Cet objectif semble en effet avoir été atteint, une seule racine ayant été légèrement touchée et aucune séquelle clinique constatée. Par ailleurs, la nécrose observée sur la dent 11 ne semble pas directement liée à la chirurgie, aucune lésion piézo-électrique n'ayant été détectée sur l'exploration TVFC correspondante. Les nécroses

dentaires per-orthodontiques sont d'origine multifactorielle, le DDO ou un antécédent de traumatisme pourrait expliquer cette lésion iatrogénique. La technique chirurgicale mise en œuvre dans le cadre de ce protocole de recherche offre la possibilité d'un repérage précis des tracés d'incision mucopériostée et osseuse. L'utilisation d'un insert piézoélectrique plus mince (0,35 mm) que celui prévu à l'origine (5) contribue également à augmenter la précision des incisions et donc à limiter les risques de lésion radiculaire. Le faible coût des matériaux rentrant dans la fabrication de ce guide chirurgical et la facilité de mise en œuvre de ce dispositif en font une approche accessible au plus grand nombre. Toutefois, le temps passé à la confection du guide et à la planification chirurgicale (au total 3 heures environ) devra également être pris en compte.

Le TVFC n'est pas systématiquement utilisé pour ce type d'approches associant piézo-corticision et traitement orthodontique. (74, 75). De notre point de vu, cet examen est pourtant essentiel pour la planification pré-chirurgicale des incisions osseuses. Il fournit des informations précieuses sur les positions des racines, la profondeur et l'angulation des incisions osseuses. Toutefois, l'exposition devra toujours être optimisée selon le principe ALARA («As Low As Reasonably Achievable») (175).

L'échelle VAS a été utilisée dans le cadre de ce protocole de recherche clinique, pour évaluer la douleur. Sa validité, sa simplicité et sa reproductibilité ont en effet déjà été largement démontrées (168, 169). La douleur médiane pour les joues, le tissu gingival et les dents était faible (VAS = 1/10) et durait moins de cinq jours. La majorité des valeurs médianes aberrantes proviennent d'une patiente qui a travaillé comme actrice pour son emploi d'été. Elle a dû parler plusieurs heures par jour, ce qui peut avoir affecté la cicatrisation du tissu

gingival. Par conséquent, les activités professionnelles du patient devront être prises en compte lors de la planification des TO-PCs. Nos résultats ont montré des niveaux de douleur inférieurs à ceux recensés par Chavaret et al. (2016) (VAS = $6 \pm 1,9$ / 10) (8). Cette différence s'explique probablement par le fait que nous avons prescrit des analgésiques immédiatement après la chirurgie, alors que Chavaret et al. (2016) invitaient les patients à prendre des analgésiques seulement si nécessaires. Cela pourrait également expliquer pourquoi le niveau de douleur décrit dans la littérature pour les TOC est également plus élevé (VAS = 3-5 / 10) (37, 40, 41, 176). Les corticisidions pourraient également diminuer en temps et en quantité le phénomène de hyalinisation (70, 89) et donc, potentiellement diminuer la douleur. Étant donné que les mécanismes cellulaires impliqués dans la douleur per-orthodontique ne sont pas encore complètement compris (120, 176), d'autres études sont nécessaires pour mieux clarifier les cascades moléculaires mises en jeu. La consommation d'analgésiques a été maximale au cours des deux premiers jours après la chirurgie, la majorité des participants ayant suivi les recommandations de la prescription. Le croisement des courbes de suivi de la douleur tend à montrer que la douleur n'était pas assez forte pour justifier la prise d'analgésiques (Figure 34). De plus, certains patients ont pris moins de médicaments que la quantité recommandée. Ces résultats suggèrent donc que les niveaux de douleur étaient faibles et temporaires après les TO-PCs. Toutefois leur interprétation reste délicate en l'absence de groupe contrôle. Par conséquent, la distinction entre la douleur liée au traitement d'orthodontie de celle associée à la chirurgie reste difficile.

Sauf pour mastication, les TO-PCs ont peu impacté les fonctions orales et les activités de la vie quotidienne après une semaine. Ces effets sur les activités quotidiennes ont également été décrits pour les TOCs, où la majorité des patients présentent une difficulté

masticatoire, ce qui affecte leurs habitudes alimentaires (177). Cet effet négatif sur la fonction masticatoire dans les deux types de traitements peut s'expliquer par deux facteurs : (1) les stimuli nociceptifs produits par les traitements d'orthodontie peuvent réduire l'activité massétérique (178, 179), et (2) la mobilité dentaire accrue en raison des mouvements plus rapides causés par le PAR, pourrait influencer l'efficacité masticatoire.

L'ensemble de ces résultats expliquerait le degré de satisfaction des patients vis-à-vis des TO-PCs. Ces traitements mini-invasifs pourraient donc être un outil intéressant dans la trousse du clinicien pour répondre à la demande des patients (27, 30, 31).

L'acquisition TVFC a été utilisée notamment pour l'évaluation des résorptions radiculaires. Les données de la littérature s'accordent sur les grandes performances de cette modalité d'imagerie pour détecter les RRAE (142-146). Par ailleurs, les niveaux de résolution en TVFC permettent des mesures précises à condition d'utiliser une taille de voxel inférieure à 0,4 mm (158, 161-163). La résolution utilisée pour ce travail était de 0,15 mm. Une limite de notre étude provenait du fait que le TVFC était réalisé dans la semaine suivant la fin du traitement actif. Avec un délai aussi court, l'os néoformé ou ayant subi un remodelage important était possiblement présent mais invisible à la radiographie (158, 159). Nos résultats montraient une perte moyenne de la hauteur osseuse alvéolaire buccale au niveau des incisives inférieures plus importante que celle décrite dans la littérature pour les TOCs (164) (3mm vs 1mm) (Figure 36). Cependant les mesures étaient similaires à celles rapportées pour la perte osseuse linguale avec une diminution moyenne de hauteur d'environ 1mm (164). La vestibuloversion liée à l'encombrement des incisives a pu également jouer sur un rôle sur la lyse osseuse même si l'étude de Garlock et al. (2016) n'a pas mis en évidence de corrélation (164). Ruso et al. (2014) sur le chien ont observé une récession osseuse post-expansion avec

ou sans PC sans différence significative entre les groupes (99). Des travaux devront être menées afin de vérifier si les TO-PCs provoquent d'avantage de récession osseuse que les TOCs au niveau des incisives inférieures. Si tel est le cas, la réalisation de greffe osseuse per-opératoire comme l'avait initialement proposé Dibart et al. (5) pourrait remédier à cette problématique. A notre connaissance, aucune étude n'a été publiée sur les autres secteurs dentaires.

L'épaisseur osseuse alvéolaire a diminué significativement d'environ 1 mm au niveau des incisives supérieures, et surtout au niveau de la corticale linguale. Par contre, la corticale buccale s'est épaissie à ce niveau. Ce phénomène pourrait être provoqué par les incisions piézo-électriques, tel que rapporté dans la littérature (65, 66).

Des RRAE ont été observées dans tous les secteurs mais ont été plus importantes dans les secteurs antérieurs avec une diminution moyenne de la longueur radiculaire inférieure à 1mm et un index de Levander et Malmgren inférieure à 2, ce qui est considéré comme étant faible à modéré. Ces résultats doivent cependant être interprétés avec précaution car si la dent présentait une courbure apicale importante, la mesure n'indiquait pas la distance jusqu'à l'apex. Ces situations nous ont amené à recourir à une autre approche évaluative basée notamment sur l'index de Levander et Malmgren. Des résultats similaires sont retrouvés dans la littérature où l'incidence générale des RRAE est augmentée après un TOC (147). Les incisives supérieures sont les dents les plus atteintes avec une moyenne de 1,4mm de RRAE (149). Une étude comparative entre les TO-PCs et les TOCs permettrait de savoir si les PC diminuent réellement le risque de RRAE. En accord avec la revue systématique de Weltman et al. (147) et la méta-analyse de Segal et al. (123), cet effet bénéfique pourrait provenir de la diminution de la durée du traitement (121-124), de la diminution du phénomène de hyalinisation (126,

127), ainsi que de l'augmentation du remodelage osseux (125). L'importance de cette dernière variable est encore discutée dans la communauté scientifique. L'augmentation de RANKL pourrait augmenter le risque de RRAE (180). Le rôle central de RANKL dans les RRAE ainsi que celui des cytokines pro-inflammatoires comme IL-1 et IL-6, TNF- α et interféron- γ vient être confirmé (119). Cependant, les résultats montrent qu'il n'y a pas de variation significative de ces protéines à moyen terme lors des TO-PCs.

De manière générale, deux pics étaient retrouvés sur les courbes des marqueurs de l'inflammation, le premier à 3 et le second à 16 semaines, même si ces variations restent non-significatives (Figure 40). Ces résultats étaient inattendus car un pic significatif au cours du premier mois avait été anticipé, suivi d'une diminution progressive au cours du temps tout en restant supérieur au niveau initial (tableau I). Il est possible qu'un pic plus important ait eu lieu au cours de la première semaine (181) mais qu'il n'ait pas été détecté car notre deuxième prélèvement était réalisé à 3 semaines. L'intervalle des prélèvements était volontairement espacé de plusieurs semaines, le but de l'étude étant d'évaluer les fluctuations du processus inflammatoire au niveau du parodonte à moyen et long terme. Nous souhaitons ainsi apporter des éléments d'information préliminaires sur la durée du PAR pour les chirurgie mini-invasives car à notre connaissance aucune travail n'a été publiée à ce sujet chez l'homme. La majorité des études arrêtent leurs expérimentations avant 6 semaines (181). Le deuxième pic pourrait être associé à la fin de la phase du PBA et à la mise en place d'un fil plus rigide en acier inoxydable. Les forces exercées sur la dent seraient plus importantes ce qui pourrait augmenter l'inflammation. La durée du PBA maxillaire a été de 18 semaines ce qui est proche de la date de notre prélèvement. Cette hypothèse devra être confirmée dans des études futures.

Malgré le nombre limité de sujet, plusieurs variables cliniques et radiologiques ont pu

être mesurées. A notre connaissance, c'est la première étude publiée qui compare à l'aide d'une imagerie tridimensionnelle, les effets des TO-PC sur les RREA et sur l'os alvéolaire. Nos résultats cliniques confirment les premiers résultats de Chavaret et al. (2016) (6) sur la réduction du temps de traitement. Toutefois, en accord avec la dernière revue systématique sur les techniques mini-invasives (8), d'autres études RCT doivent être menées pour confirmer l'intérêt des TO-PCs à long terme. Des études fondamentales devraient également être conduites pour améliorer les connaissances sur les mécanismes biologiques sous-jacents.

5 CONCLUSIONS

- Le protocole des TO-PCs utilisé dans ce travail de recherche a diminué de près de moitié la durée du traitement actif d'orthodontie comparativement aux TOCs.
- Le guide radiologique et chirurgical développé était sécuritaire.
- Les patients ont rapporté un niveau de douleur médian faible et temporaire au cours de la première semaine post-chirurgie.
- La mastication était la fonction la plus affectée et a eu le plus grand impact sur la vie quotidienne.
- L'acceptation et la satisfaction pour les TO-PCs étaient très élevées.
- Les résorptions radiculaires apicales externes étaient généralisées. Elles étaient faibles en postérieures et modérées en antérieures.
- Les TO-PCs ont provoqué des récessions osseuses buccales importantes de l'os alvéolaire au niveau des incisives inférieures.
- L'épaisseur de l'os alvéolaire n'a pas varié de façon significative aussi bien au niveau apical qu'à mi-hauteur, sauf au niveau des incisives supérieures où elle a diminué d'environ 1mm.
- Les niveaux créviculaires des marqueurs de l'inflammation au pourtour des dents traitées avec un TO-PC n'ont pas démontré de variations significatives.

Bibliographie

1. American Association of Orthodontists New Study Says Adults are Seeking Orthodontic Treatment in Record Numbers ST. LOUIS: 2013. "<https://www1.mylifemysmile.org/cms/wp-content/uploads/2015/07/Results-of-AAO-Patient-Census-Survey-2012.pdf>. Accessed 02-12 2016
2. Proffit WR FHJ, Sarver DM. Contemporary orthodontics (5th ed.). 5th ed. St. Louis: Elsevier Mosby; 2012.
3. 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.
4. Zawawi KH. Patients' acceptance of corticotomy-assisted orthodontics. *Patient Preference Adherence* 2015;9:1153-8.
5. Dibart S, Sebaoun JD, Surmenian J. Piezocision: a minimally invasive, periodontally accelerated orthodontic tooth movement procedure. *Compend Contin Educ Dent* 2009;30(6):342-4, 46, 48-50.
6. Charavet C, Lecloux G, Bruwier A, et al. Localized Piezoelectric Alveolar Decortication for Orthodontic Treatment in Adults: A Randomized Controlled Trial. *J Dent Res* 2016.95(9):1003-9
7. Fleming PS, Fedorowicz Z, Johal A, El-Angbawi A, Pandis N. Surgical adjunctive procedures for accelerating orthodontic treatment. *Cochrane Database Syst Rev* 2015;6:Cd010572.
8. Hoffmann S, Papadopoulos N, Visel D, et al. Influence of piezotomy and osteoperforation of the alveolar process on the rate of orthodontic tooth movement: a systematic review. *J Orofac Orthop* 2017. Mar 20.
9. Kalemaj Z, Debernard IC, Buti J. Efficacy of surgical and non-surgical interventions on accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review. *Eur J Oral Implantol* 2015;8(1):9-24.

10. Robb SI, Sadowsky C, Schneider BJ, BeGole EA. Effectiveness and duration of orthodontic treatment in adults and adolescents. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;114(4):383-6.
11. Dyer GS, Harris EF, Vaden JL. Age effects on orthodontic treatment: adolescents contrasted with adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;100(6):523-30.
12. Skidmore KJ, Brook KJ, Thomson WM, Harding WJ. Factors influencing treatment time in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129(2):230-8.
13. Tsihlaki 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.
14. Mavreas D, Athanasiou AE. Factors affecting the duration of orthodontic treatment: a systematic review. *Eur J Orthod* 2008;30(4):386-95.
15. Melo AC, Carneiro LO, Pontes LF, et al. Factors related to orthodontic treatment time in adult patients. *Dental Press J Orthod* 2013;18(5):59-63.
16. Turbill EA, Richmond S, Wright JL. The time-factor in orthodontics: what influences the duration of treatments in National Health Service practices? *Community Dent Oral Epidemiol* 2001;29(1):62-72.
17. Popowich K F-MC, Nebbeb B, Heoc G, Major P.W. Comparison of Class I and Class II Treatment Duration Among Three Different Orthodontic Practices. *Seminars in Orthodontics* 2006;12(1):52-59.
18. Beckwith FR, Ackerman RJ, Jr., Cobb CM, Tira DE. An evaluation of factors affecting duration of orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;115(4):439-47.
19. Fink DF, Smith RJ. The duration of orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;102(1):45-51.
20. Chen SS, Greenlee GM, Kim JE, Smith CL, Huang GJ. Systematic review of self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137(6):726.e1-26.e18; discussion 26-7.
21. Fleming PS, Johal A. Self-ligating brackets in orthodontics. A systematic review. *Angle Orthod* 2010;80(3):575-84.

22. Celar A, Schedlberger M, Dorfler P, Bertl M. Systematic review on self-ligating vs. conventional brackets: initial pain, number of visits, treatment time. *J Orofac Orthop* 2013;74(1):40-51.
23. Papageorgiou SN, Konstantinidis I, Papadopoulou K, Jager A, Bourauel C. Clinical effects of pre-adjusted edgewise orthodontic brackets: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod* 2014;36(3):350-63.
24. Wenger R DS, Vig K, Beck M, Vig P. Classes I, II and III differences in severity, duration and orthodontic results. *J Dent Res* 1996(75):437.
25. Flint WR. Orthodontics for adults; a cure for complexes. *Dent Surv* 1947;23(5):872-9.
26. American Association of Orthodontists. New Study Shows Record Number of Adults are Seeking Orthodontic Treatment. 2016.
27. Farishta S. Patient's Perceptions Regarding Orthodontic Needs and Satisfactory Level with the Procedure. *J Int Oral Health* 2015;7(9):79-82.
28. Oliveira PG, Tavares RR, Freitas JC. Assessment of motivation, expectations and satisfaction of adult patients submitted to orthodontic treatment. *Dental Press J Orthod* 2013;18(2):81-7.
29. Langlade M. *Thérapeutique orthodontique*: Maloine; 1986.
30. Uribe F, Padala S, Allareddy V, Nanda R. Patients', parents', and orthodontists' perceptions of the need for and costs of additional procedures to reduce treatment time. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;145(4 Suppl):S65-73.
31. de Souza RA, de Oliveira AF, Pinheiro SM, Cardoso JP, Magnani MB. Expectations of orthodontic treatment in adults: the conduct in orthodontist/patient relationship. *Dental Press J Orthod* 2013;18(2):88-94.
32. Lew KK. Attitudes and perceptions of adults towards orthodontic treatment in an Asian community. *Community Dent Oral Epidemiol* 1993;21(1):31-5.
33. Scheurer PA, Firestone AR, Burgin WB. Perception of pain as a result of orthodontic treatment with fixed appliances. *Eur J Orthod* 1996;18(4):349-57.
34. Kvam E, Bondevik O, Gjerdet NR. Traumatic ulcers and pain in adults during orthodontic treatment. *Community Dent Oral Epidemiol* 1989;17(3):154-7.
35. Erdinc AM, Dincer B. Perception of pain during orthodontic treatment with fixed appliances. *Eur J Orthod* 2004;26(1):79-85.

36. Fernandes LM, Ogaard B, Skoglund L. Pain and discomfort experienced after placement of a conventional or a superelastic NiTi aligning archwire. A randomized clinical trial. *J Orofac Orthop* 1998;59(6):331-9.
37. Campos MJ, Fraga MR, Raposo NR, Ferreira AP, Vitral RW. Assessment of pain experience in adults and children after bracket bonding and initial archwire insertion. *Dental Press J Orthod* 2013;18(5):32-7.
38. Sandhu SS, Sandhu J. Orthodontic pain: an interaction between age and sex in early and middle adolescence. *Angle Orthod* 2013;83(6):966-72.
39. Abdelrahman R, Al-Nimri KS, Al Maaitah EF. Pain experience during initial alignment with three types of nickel-titanium archwires: a prospective clinical trial. *Angle Orthod* 2015;85(6):1021-6.
40. 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.
41. Gkantidis N, Mistakidis I, Kouskoura T, Pandis N. Effectiveness of non-conventional methods for accelerated orthodontic tooth movement: a systematic review and meta-analysis. *J Dent* 2014;42(10):1300-19.
42. Kau CH NJ, English JD. The clinical evaluation of a novel cyclical force generating device in orthodontics. *Orthodontics PRACTICE • US* 2010;1(1):10-15.
43. Spielmann T, Wieslander L, Hefti AF. [Acceleration of orthodontically induced tooth movement through the local application of prostaglandin (PGE1)]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1989;99(2):162-5.
44. Yamasaki K, Shibata Y, Imai S, et al. Clinical application of prostaglandin E1 (PGE1) upon orthodontic tooth movement. *Am J Orthod* 1984;85(6):508-18.
45. Kale S, Kocadereli I, Atilla P, Asan E. Comparison of the effects of 1,25 dihydroxycholecalciferol and prostaglandin E2 on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125(5):607-14.
46. 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.
47. Weber DJ, 2nd, Koroluk LD, Phillips C, Nguyen T, Proffit WR. Clinical effectiveness and efficiency of customized vs. conventional preadjusted bracket systems. *J Clin Orthod* 2013;47(4):261-6; quiz 68.

48. Saxe AK, Louie LJ, Mah J. Efficiency and effectiveness of SureSmile. *World J Orthod* 2010;11(1):16-22.
49. Nishimura M, Chiba M, Ohashi T, et al. Periodontal tissue activation by vibration: intermittent stimulation by resonance vibration accelerates experimental tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133(4):572-83.
50. Woodhouse NR, DiBiase AT, Johnson N, et al. Supplemental vibrational force during orthodontic alignment: a randomized trial. *J Dent Res* 2015;94(5):682-9.
51. Kau CH, Kantarci A, Shaughnessy T, et al. Photobiomodulation accelerates orthodontic alignment in the early phase of treatment. *Prog Orthod* 2013;14:30.
52. 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.
53. Doshi-Mehta G, Bhad-Patil WA. Efficacy of low-intensity laser therapy in reducing treatment time and orthodontic pain: a clinical investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;141(3):289-97.
54. El-Angbawi A, McIntyre GT, Fleming PS, Bearn DR. Non-surgical adjunctive interventions for accelerating tooth movement in patients undergoing fixed orthodontic treatment. *Cochrane Database Syst Rev* 2015;11:Cd010887.
55. Liou EJ, Chen PH, Wang YC, et al. Surgery-first accelerated orthognathic surgery: postoperative rapid orthodontic tooth movement. *J Oral Maxillofac Surg* 2011;69(3):781-5.
56. Huang CS, Hsu SS, Chen YR. Systematic review of the surgery-first approach in orthognathic surgery. *Biomed J* 2014;37(4):184-90.
57. Kole H. Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1959;12(3):277-88 contd.
58. Duker J. Experimental animal research into segmental alveolar movement after corticotomy. *J Maxillofac Surg* 1975;3(2):81-4.
59. Generson RM, Porter JM, Zell A, Stratigos GT. Combined surgical and orthodontic management of anterior open bite using corticotomy. *J Oral Surg* 1978;36(3):216-9.
60. Anholm JM, Crites DA, Hoff R, Rathbun WE. Corticotomy-facilitated orthodontics. *Cda j* 1986;14(12):7-11.

61. Gantes B, Rathbun E, Anholm M. Effects on the periodontium following corticotomy-facilitated orthodontics. Case reports. *J Periodontol* 1990;61(4):234-8.
62. Wilcko MT WW, Bissada NF. An Evidence-Based Analysis of Periodontally Accelerated Orthodontic and Osteogenic Techniques: A Synthesis of Scientific Perspectives. *Seminars in Orthodontics* 2008;14(4):305-16.
63. Germec D, Giray B, Kocadereli I, Enacar A. Lower incisor retraction with a modified corticotomy. *Angle Orthod* 2006;76(5):882-90.
64. Vercellotti T, Podesta A. Orthodontic microsurgery: a new surgically guided technique for dental movement. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2007;27(4):325-31.
65. Vercellotti T, Nevins ML, Kim DM, et al. Osseous response following resective therapy with piezosurgery. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2005;25(6):543-9.
66. Milano F, Dibart S, Montesani L, Guerra L. Computer-guided surgery using the piezocision technique. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2014;34(4):523-9.
67. Cassetta M, Stefanelli LV, Di Carlo S, Pompa G, Barbato E. The accuracy of CBCT in measuring jaws bone density. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2012;16(10):1425-9.
68. Esteves JC, Marcantonio E, Jr., de Souza Faloni AP, et al. Dynamics of bone healing after osteotomy with piezosurgery or conventional drilling - histomorphometrical, immunohistochemical, and molecular analysis. *J Transl Med* 2013;11:221.
69. Farid KA, Mostafa YA, Kaddah MA, El-Sharaby FA. Corticotomy-facilitated orthodontics using piezosurgery versus rotary instruments: an experimental study. *J Int Acad Periodontol* 2014;16(4):103-8.
70. Kim SJ, Park YG, Kang SG. Effects of Corticision on paradental remodeling in orthodontic tooth movement. *Angle Orthod* 2009;79(2):284-91.
71. Alikhani M, Raptis M, Zoldan B, et al. Effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144(5):639-48.
72. Dibart S, Surmenian J, Sebaoun JD, Montesani L. Rapid treatment of Class II malocclusion with piezocision: two case reports. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2010;30(5):487-93.
73. Hernandez-Alfaro F, Guijarro-Martinez R. Endoscopically assisted tunnel approach for minimally invasive corticotomies: a preliminary report. *J Periodontol* 2012;83(5):574-80.

74. Keser EI, Dibart S. Sequential piezocision: a novel approach to accelerated orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144(6):879-89.
75. Nelson D, Dibart S. Sequential piezocision in a challenging adult case. *J Clin Orthod* 2014;48(9):555-62.
76. Brugnami F, Caiazzo A, Dibart S. Lingual orthodontics: accelerated realignment of the "social six" with piezocision. *Compend Contin Educ Dent* 2013;34(8):608-10.
77. Keser EI, Dibart S. Piezocision-assisted Invisalign treatment. *Compend Contin Educ Dent* 2011;32(2):46-8, 50-1.
78. Cassetta M, Giansanti M, Di Mambro A, Calasso S, Barbato E. Minimally invasive corticotomy in orthodontics using a three-dimensional printed CAD/CAM surgical guide. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2016;45(9):1059-64
79. Camacho AD, Velasquez Cujar SA. Dental movement acceleration: Literature review by an alternative scientific evidence method. *World J Methodol* 2014;4(3):151-62.
80. Hoogeveen EJ, Jansma J, Ren Y. Surgically facilitated orthodontic treatment: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;145(4 Suppl):S51-64.
81. Long H, Pyakurel U, Wang Y, et al. Interventions for accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod* 2013;83(1):164-71.
82. Abdallah MN, Flores-Mir C. Are interventions for accelerating orthodontic tooth movement effective? *Evid Based Dent* 2014;15(4):116-7.
83. Strippoli J, Aknin JJ. [Accelerated tooth movement by alveolar corticotomy or piezocision]. *Orthod Fr* 2012;83(2):155-64.
84. Frost HM. The biology of fracture healing. An overview for clinicians. Part II. *Clin Orthop Relat Res* 1989(248):294-309.
85. Teixeira CC, Khoo E, Tran J, et al. Cytokine expression and accelerated tooth movement. *J Dent Res* 2010;89(10):1135-41.
86. Yang C, Wang C, Deng F, Fan Y. Biomechanical effects of corticotomy approaches on dentoalveolar structures during canine retraction: A 3-dimensional finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015;148(3):457-65.
87. Kurohama T, Hotokezaka H, Hashimoto M, et al. Increasing the amount of corticotomy does not affect orthodontic tooth movement or root resorption, but

- accelerates alveolar bone resorption in rats. *Eur J Orthod* 2016; 1–10
88. Iino S, Sakoda S, Ito G, et al. Acceleration of orthodontic tooth movement by alveolar corticotomy in the dog. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131(4):448.e1-8.
 89. Peron AP, Johann AC, Papalexiou V, et al. Tissue responses resulting from tooth movement surgically assisted by corticotomy and corticision in rats. *Angle Orthod* 2016; 87(1):118-124
 90. Yaffe A, Fine N, Binderman I. Regional accelerated phenomenon in the mandible following mucoperiosteal flap surgery. *J Periodontol* 1994;65(1):79-83.
 91. Sebaoun JD, Kantarci A, Turner JW, et al. Modeling of trabecular bone and lamina dura following selective alveolar decortication in rats. *J Periodontol* 2008;79(9):1679-88.
 92. Wang L, Lee W, Lei DL, et al. Tissue responses in corticotomy- and osteotomy-assisted tooth movements in rats: histology and immunostaining. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136(6):770.e1-11; discussion 70-1.
 93. Baloul SS, Gerstenfeld LC, Morgan EF, et al. Mechanism of action and morphologic changes in the alveolar bone in response to selective alveolar decortication-facilitated tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139(4 Suppl):S83-101.
 94. Mostafa YA, Mohamed Salah Fayed M, Mehanni S, ElBokle NN, Heider AM. Comparison of corticotomy-facilitated vs standard tooth-movement techniques in dogs with miniscrews as anchor units. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136(4):570-7.
 95. Murphy CA, Chandhoke T, Kalajzic Z, et al. Effect of corticision and different force magnitudes on orthodontic tooth movement in a rat model. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;146(1):55-66.
 96. Dibart S, Yee C, Surmenian J, et al. Tissue response during Piezocision-assisted tooth movement: a histological study in rats. *Eur J Orthod* 2014;36(4):457-64.
 97. Tsai CY, Yang TK, Hsieh HY, Yang LY. Comparison of the effects of micro-osteoperforation and corticision on the rate of orthodontic tooth movement in rats. *Angle Orthod* 2015.

98. Swapp A, Campbell PM, Spears R, Buschang PH. Flapless cortical bone damage has no effect on medullary bone mesial to teeth being moved. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015;147(5):547-58.
99. Ruso S, Campbell PM, Rossmann J, et al. Bone response to buccal tooth movements-with and without flapless alveolar decortication. *Eur J Orthod* 2014;36(6):613-23.
100. Lee W, Karapetyan G, Moats R, et al. Corticotomy-/Osteotomy-assisted Tooth Movement microCTs Differ. *Journal of Dental Research* 2008;87(9):861-67.
101. Shoreibah EA, Salama AE, Attia MS, Abu-Seida SM. Corticotomy-facilitated orthodontics in adults using a further modified technique. *J Int Acad Periodontol* 2012;14(4):97-104.
102. Verna C, Dalstra M, Melsen B. The rate and the type of orthodontic tooth movement is influenced by bone turnover in a rat model. *Eur J Orthod* 2000;22(4):343-52.
103. Verna C. Regional Acceleratory Phenomenon. *Front Oral Biol* 2016;18:28-35.
104. Cho KW, Cho SW, Oh CO, et al. The effect of cortical activation on orthodontic tooth movement. *Oral Dis* 2007;13(3):314-9.
105. Sanjideh PA, Rossouw PE, Campbell PM, Opperman LA, Buschang PH. Tooth movements in foxhounds after one or two alveolar corticotomies. *Eur J Orthod* 2010;32(1):106-13.
106. Safavi SM, Heidarpour M, Izadi SS, Heidarpour M. Effects of flapless bur decortications on movement velocity of dogs' teeth. *Dent Res J (Isfahan)* 2012;9(6):783-9.
107. Aboul-Ela SM, El-Beialy AR, El-Sayed KM, et al. Miniscrew implant-supported maxillary canine retraction with and without corticotomy-facilitated orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139(2):252-9.
108. Al-Naoum F, Hajeer MY, Al-Jundi A. Does alveolar corticotomy accelerate orthodontic tooth movement when retracting upper canines? A split-mouth design randomized controlled trial. *J Oral Maxillofac Surg* 2014;72(10):1880-9.
109. Wu J, Jiang JH, Xu L, et al. A pilot clinical study of Class III surgical patients facilitated by improved accelerated osteogenic orthodontic treatments. *Angle Orthod* 2015;85(4):616-24.

110. Abbas NH, Sabet NE, Hassan IT. Evaluation of corticotomy-facilitated orthodontics and piezocision in rapid canine retraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016;149(4):473-80.
111. Buschang Peter H. , Campbell Phillip M. , Stephen R. Accelerating Tooth Movement With Corticotomies: Is It Possible and Desirable? *Seminars in Orthodontics* 2012;18(4):286_94.
112. Liem AM, Hoogeveen EJ, Jansma J, Ren Y. Surgically facilitated experimental movement of teeth: systematic review. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2015;53(6):491-506.
113. Mathews DP, Kokich VG. Accelerating tooth movement: the case against corticotomy-induced orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144(1):5-13.
114. Frost HM. The regional acceleratory phenomenon: a review. *Henry Ford Hosp Med J* 1983;31(1):3-9.
115. Raggatt LJ, Partridge NC. Cellular and molecular mechanisms of bone remodeling. *J Biol Chem* 2010;285(33):25103-8.
116. Chen H, Senda T, Kubo KY. The osteocyte plays multiple roles in bone remodeling and mineral homeostasis. *Med Mol Morphol* 2015;48(2):61-8.
117. King GJ, Latta L, Rutenberg J, Ossi A, Keeling SD. Alveolar bone turnover and tooth movement in male rats after removal of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;111(3):266-75.
118. Verna C, Zaffe D, Siciliani G. Histomorphometric study of bone reactions during orthodontic tooth movement in rats. *Bone* 1999;24(4):371-9.
119. Iglesias-Linares A, Hartsfield JK, Jr. Cellular and Molecular Pathways Leading to External Root Resorption. *J Dent Res* 2017;96(2):145-52.
120. Huang H, Williams RC, Kyrkanides S. Accelerated orthodontic tooth movement: molecular mechanisms. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;146(5):620-32.
121. Motokawa M, Sasamoto T, Kaku M, et al. Association between root resorption incident to orthodontic treatment and treatment factors. *Eur J Orthod* 2012;34(3):350-6.
122. Apajalahti S, Peltola JS. Apical root resorption after orthodontic treatment -- a retrospective study. *Eur J Orthod* 2007;29(4):408-12.

123. Segal GR, Schiffman PH, Tuncay OC. Meta analysis of the treatment-related factors of external apical root resorption. *Orthod Craniofac Res* 2004;7(2):71-8.
124. Roscoe MG, Meira JB, Cattaneo PM. Association of orthodontic force system and root resorption: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015;147(5):610-26.
125. Deguchi T, Seiryu M, Daimaruya T, et al. Decreased alveolar bone turnover is related to the occurrence of root resorption during experimental tooth movement in dogs. *Angle Orthod* 2015;85(3):386-93.
126. Brudvik P, Rygh P. Transition and determinants of orthodontic root resorption-repair sequence. *Eur J Orthod* 1995;17(3):177-88.
127. Kurol J, Owman-Moll P. Hyalinization and root resorption during early orthodontic tooth movement in adolescents. *Angle Orthod* 1998;68(2):161-5.
128. Patterson BM, Dalci O, Papadopoulou AK, et al. Effect of piezocision on root resorption associated with orthodontic force: A microcomputed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2017;151(1):53-62.
129. Zachrisson BU, Zachrisson S. Caries incidence and oral hygiene during orthodontic treatment. *Scand J Dent Res* 1971;79(6):394-401.
130. Richter AE, Arruda AO, Peters MC, Sohn W. Incidence of caries lesions among patients treated with comprehensive orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139(5):657-64.
131. Makki L, Ferguson DJ, Wilcko MT, et al. Mandibular irregularity index stability following alveolar corticotomy and grafting: A 10-year preliminary study. *Angle Orthod* 2015;85(5):743-9.
132. Chaison JB, Chen CS, Herring SW, Bollen AM. Bone volume, tooth volume, and incisor relapse: a 3-dimensional analysis of orthodontic stability. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;138(6):778-86.
133. Rothe LE, Bollen AM, Little RM, et al. Trabecular and cortical bone as risk factors for orthodontic relapse. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130(4):476-84.
134. Wilcko W, Wilcko MT. Accelerating tooth movement: the case for corticotomy-induced orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144(1):4-12.

135. Dibart S, Keser E, Nelson D. Piezocision™-assisted orthodontics: Past, present, and future. *Seminars in Orthodontics* 2015;21(3):170-75.
136. Safaa S Abed AIA-B. Corticotomy assisted orthodontic canine retraction. *J Bagh College Dentistry* 2013;25(1):160-66.
137. Sakthi SV, Vikraman B, Shobana VR, Iyer SK, Krishnaswamy NR. Corticotomy-assisted retraction: an outcome assessment. *Indian J Dent Res* 2014;25(6):748-54.
138. Echchadi Mel M. The role of alveolar corticotomies in orthodontic anchorage management. *Int Orthod* 2014;12(2):171-87.
139. Aksakalli S, Calik B, Kara B, Ezirganhi S. Accelerated tooth movement with piezocision and its periodontal-transversal effects in patients with Class II malocclusion. *Angle Orthod* 2015; 86(1):59-65.
140. Patterson BM, Dalci O, Darendeliler MA, Papadopoulou AK. Corticotomies and Orthodontic Tooth Movement: A Systematic Review. *J Oral Maxillofac Surg* 2015; 74(3):453-73.
141. Mehr R. Efficiency of Piezotome-Corticism Assisted Orthodontics in Alleviating Mandibular Anterior Crowding - A Randomized Controlled Clinical trial [University of Connecticut School of Medicine and Dentistry; 2013. Master's theses. 506.
142. Lund H, Grondahl K, Grondahl HG. Cone beam computed tomography for assessment of root length and marginal bone level during orthodontic treatment. *Angle Orthod* 2010;80(3):466-73.
143. Dudic A, Giannopoulou C, Leuzinger M, Kiliaridis S. Detection of apical root resorption after orthodontic treatment by using panoramic radiography and cone-beam computed tomography of super-high resolution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135(4):434-7.
144. Sherrard JF, Rossouw PE, Benson BW, Carrillo R, Buschang PH. Accuracy and reliability of tooth and root lengths measured on cone-beam computed tomographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137(4 Suppl):S100-8.
145. Ren H, Chen J, Deng F, et al. Comparison of cone-beam computed tomography and periapical radiography for detecting simulated apical root resorption. *Angle Orthod* 2013;83(2):189-95.

146. Ponder SN, Benavides E, Kapila S, Hatch NE. Quantification of external root resorption by low- vs high-resolution cone-beam computed tomography and periapical radiography: A volumetric and linear analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;143(1):77-91.
147. Weltman B, Vig KW, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137(4):462-76; discussion 12A.
148. Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103(2):138-46.
149. Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;119(5):505-10.
150. Harris EF, Kineret SE, Tolley EA. A heritable component for external apical root resorption in patients treated orthodontically. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;111(3):301-9.
151. Al-Qawasmi RA, Hartsfield JK, Jr., Everett ET, et al. Genetic predisposition to external apical root resorption in orthodontic patients: linkage of chromosome-18 marker. *J Dent Res* 2003;82(5):356-60.
152. Wu FL, Wang LY, Huang YQ, et al. Interleukin-1beta +3954 polymorphisms and risk of external apical root resorption in orthodontic treatment: a meta-analysis. *Genet Mol Res* 2013;12(4):4678-86.
153. Abuabara A. Biomechanical aspects of external root resorption in orthodontic therapy. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2007;12(8):E610-3.
154. 154. Pereira S, Lavado N, Nogueira L, et al. Polymorphisms of genes encoding P2X7R, IL-1B, OPG and RANK in orthodontic-induced apical root resorption. *Oral Dis* 2014;20(7):659-67.
155. Iglesias-Linares A, Yanez-Vico RM, Moreno-Fernandez AM, et al. Osteopontin gene SNPs (rs9138, rs11730582) mediate susceptibility to external root resorption in orthodontic patients. *Oral Dis* 2014;20(3):307-12.
156. Carrotte P. Endodontics: Part 9. Calcium hydroxide, root resorption, endo-perio lesions. *Br Dent J* 2004;197(12):735-43.

157. Otis LL, Hong JS, Tuncay OC. Bone structure effect on root resorption. *Orthod Craniofac Res* 2004;7(3):165-77.
158. Molen AD. Considerations in the use of cone-beam computed tomography for buccal bone measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137(4 Suppl):S130-5.
159. Huang H, Richards M, Bedair T, et al. Effects of orthodontic treatment on human alveolar bone density distribution. *Clin Oral Investig* 2013;17(9):2033-40.
160. Ames MS, Hong S, Lee HR, et al. Estrogen deficiency increases variability of tissue mineral density of alveolar bone surrounding teeth. *Arch Oral Biol* 2010;55(8):599-605.
161. Timock AM, Cook V, McDonald T, et al. Accuracy and reliability of buccal bone height and thickness measurements from cone-beam computed tomography imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;140(5):734-44.
162. Leung CC, Palomo L, Griffith R, Hans MG. Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography for measuring alveolar bone height and detecting bony dehiscences and fenestrations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137(4 Suppl):S109-19.
163. Sun Z, Smith T, Kortam S, et al. Effect of bone thickness on alveolar bone-height measurements from cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139(2):e117-27.
164. Garlock DT, Buschang PH, Araujo EA, Behrents RG, Kim KB. Evaluation of marginal alveolar bone in the anterior mandible with pretreatment and posttreatment computed tomography in nonextraction patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016;149(2):192-201.
165. Ma ZG, Yang C, Fang B, et al. Three-D imaging of dental alveolar bone change after fixed orthodontic treatment in patients with periodontitis. *Int J Clin Exp Med* 2015;8(2):2385-91.
166. Cangialosi TJ, Riolo ML, Owens SE, Jr., et al. The ABO discrepancy index: a measure of case complexity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125(3):270-8.
167. Casco JS, Vaden JL, Kokich VG, et al. Objective grading system for dental casts and panoramic radiographs. American Board of Orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;114(5):589-99.

168. Ritter PL, Gonzalez VM, Laurent DD, Lorig KR. Measurement of pain using the visual numeric scale. *J Rheumatol* 2006;33(3):574-80.
169. Page MG, Katz J, Stinson J, et al. Validation of the numerical rating scale for pain intensity and unpleasantness in pediatric acute postoperative pain: sensitivity to change over time. *J Pain* 2012;13(4):359-69.
170. Levander E, Malmgren O. Evaluation of the risk of root resorption during orthodontic treatment: a study of upper incisors. *Eur J Orthod* 1988;10(1):30-8.
171. Uematsu S, Mogi M, Deguchi T. Interleukin (IL)-1 beta, IL-6, tumor necrosis factor-alpha, epidermal growth factor, and beta 2-microglobulin levels are elevated in gingival crevicular fluid during human orthodontic tooth movement. *J Dent Res* 1996;75(1):562-7.
172. Offenbacher S, Odle BM, Van Dyke TE. The use of crevicular fluid prostaglandin E2 levels as a predictor of periodontal attachment loss. *J Periodontal Res* 1986;21(2):101-12.
173. Parrish LD, Roberts WE, Maupome G, et al. The relationship between the ABO discrepancy index and treatment duration in a graduate orthodontic clinic. *Angle Orthod* 2011;81(2):192-7.
174. Gauthier M, Gandet C. Evaluation et quantification de différents facteurs influençant le temps de traitement orthodontique [Université de Montréal; 2017].
175. Radiology AAoOaM. Clinical recommendations regarding use of cone beam computed tomography in orthodontics. [corrected]. Position statement by the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2013;116(2):238-57.
176. Long H, Wang Y, Jian F, et al. Current advances in orthodontic pain. *Int J Oral Sci* 2016;8(2):67-75.
177. Krishnan V. Orthodontic pain: from causes to management--a review. *Eur J Orthod* 2007;29(2):170-9.
178. Goldreich H, Gazit E, Lieberman MA, Rugh JD. The effect of pain from orthodontic arch wire adjustment on masseter muscle electromyographic activity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106(4):365-70.

179. Miyamoto K, Ishizuka Y, Tanne K. Changes in masseter muscle activity during orthodontic treatment evaluated by a 24-hour EMG system. *Angle Orthod* 1996;66(3):223-8.
180. Yamaguchi M. RANK/RANKL/OPG during orthodontic tooth movement. *Orthod Craniofac Res* 2009;12(2):113-9.
181. Kapoor P, Kharbanda OP, Monga N, Miglani R, Kapila S. Effect of orthodontic forces on cytokine and receptor levels in gingival crevicular fluid: a systematic review. *Prog Orthod* 2014;15:65.

Annexe 1. Comité scientifique



Faculté de médecine dentaire
Vice-décanat à la recherche

FMD-F- 3

COMITÉ SCIENTIFIQUE (CS)

M.Sc. en médecine dentaire
M.Sc. en sciences buccodentaires

DESCRIPTION DU PROTOCOLE DE RECHERCHE

Étudiant : Stripoli Julien _____	Option (si applicable) : Orthodontie _____
Directeur : Nishio Clarice _____	_____
Codirecteur : Schmittbuhl Matthieu _____	Date d'entrée dans le programme : Août 2014 _____

Développer chacun des points suivants dans le document suivant en indiquant clairement la numérotation et les titres suivants sur le formulaire ci-joint (maximum 3 pages):

1. Titre du projet;
2. La problématique à laquelle répond ce projet de recherche;
3. Les objectifs spécifiques du projet et les hypothèses de recherche;
4. L'approche expérimentale et la méthodologie choisies pour l'acquisition et l'analyse des données
Spécifier :
 - 4a) le type de recherche et le devis expérimental : fondamentale/clinique, descriptive, corrélationnelle (p. ex. : étude de cas contrôlée), expérimentale (p. ex. essais cliniques randomisés avec contrôle placebo en double insu);
 - 4b) les caractéristiques des participants : taille de l'échantillon (justifier), critères d'inclusion et d'exclusion, modalité de recrutement;
 - 4c) les procédures expérimentales (et l'équipement requis s'il y a lieu);
 - 4d) les mesures et variables dépendantes;
 - 4e) les analyses statistiques prévues;
5. Les résultats attendus (hypothèses spécifiques en termes opérationnels);
6. L'échéancier prévu;
7. Le rôle de l'étudiant;
8. La source de financement : nom de l'organisme, titre du projet financé, durée du financement (si aucune source de financement n'est présentement disponible, identifier les moyens envisagés pour financer le projet);
9. Les références.

Directives :

- L'étudiant doit s'assurer d'inscrire les informations suivantes dans le bas de la 2^e page: **son nom, la date ainsi que la version du document** (ex. : 2^e version). La pagination a été insérée automatiquement;
- Le fichier doit être enregistré de la façon suivante: **Nom_Prénom_protocole_date.doc**;

Signature du directeur de recherche : _____	Signature du co-directeur de recherche : _____
Lu et autorisé <input type="checkbox"/> Date : _____	Lu et autorisé <input type="checkbox"/> Date : _____

Macintosh HD:Users:strip:Documents:Approbation scientifique de votre protocole de recherche:Protocole de recherche-Piézocision-final-1.doc

DESCRIPTION DU PROJET DE RECHERCHE

I - Titre du projet

Évaluation des effets de la chirurgie parodontale piézoélectrique sur le traitement orthodontique: Étude pilote prospective.

II - La problématique à laquelle répond ce projet de recherche

L'orthodontie de l'adulte est en plein essor, mais la durée du traitement freine certains patients pour des raisons socio culturelles. Les patients seraient prêts à payer 20% de plus sur le prix du traitement pour réduire la durée de celui-ci (26). Les orthodontistes en collaboration avec des chirurgiens ont alors cherché à la diminuer en réalisant des corticotomies segmentaires de l'os cortical. L'idée n'est pas nouvelle, car elle a été introduite par Köle en 1959 (16), puis modifiée par de nombreux auteurs (7,8). Ils pensaient réaliser des « blocs osseux » indépendants qui se déplaceraient plus rapidement les uns des autres. C'est en 2001 que les frères Wilcko (28) bouleversent la théorie explicative précédente. Ils introduisent la « Periodontally Accelerated Osteogenic Orthodontics » (PAOO) et ils réfutent le concept du « bloc osseux » au profit du concept « biologique ». Ce nouveau concept se base sur la réaction osseuse décrite par Frost (6) douze ans plus tôt, le « Regional Activation Phenomenon » ou RAP. Il est caractérisé par une augmentation de la vitesse du remodelage osseux et un état d'ostéopénie à la suite d'une procédure chirurgicale (25). Le RAP semble être effectif avec ce type de chirurgie pendant 4 mois (9, 11, 17,18), mais cette donnée n'a pas été évaluée pour les techniques à minima.

Leur technique opératoire passe par une décortication de l'os cortical à la fraise après élévation d'un lambeau muco-périosté vestibulaire associée à une greffe de tissus mous et/ou osseux (28). Malgré l'introduction de la piézochirurgie par Vercellotti (27) dans ce protocole opératoire, cette thérapeutique paraît trop invasive pour beaucoup de patients et d'orthodontistes ce qui limite son utilisation. De plus, les PAOO sont soumises à la critique (18), car, par le manque d'étude à fort niveau de preuve, de nombreuses questions restent encore non résolues, comme l'évaluation de la durée complète du traitement ou la perception de la douleur durant le traitement.

Malgré les faiblesses de certaines études, les effets des corticotomies ont pu être analysés récemment par une méta-analyse (9) et deux revues systématiques (10,17). Il ressort qu'elles réduisent la durée du traitement de 30 à 70%, qu'elles n'ont pas d'effet délétère dento-parodontale et qu'elles ne provoquent pas de ryzhalyse, voir même les diminue. L'inconvénient souligné par ces études est la présence de sensibilités post-chirurgicales, diminuant après 7 jours, liés au caractère invasif de la procédure chirurgicale.

C'est pourquoi il a été mis au point des techniques minimalement invasives se basant sur ce même concept biologique, comme la piézocision (2,3-5,12,13,19,23) ou la corticision (11,14,15,20). Pour ces chirurgies, contrairement aux PAOO, aucun lambeau muco-périosté n'est élevé. Elles semblent donc répondre au défaut majeur des PAOO décrit précédemment. En effet, l'acte chirurgical est beaucoup plus court et les suites post opératoires décrites très réduites. Le patient repart simplement avec une prescription d'analgésique de type acétaminophène® et de bain de bouche à base de Chlorhexidine pour une semaine.

Nom : Strippoli Julien Date : 3-11-2014 Version _____ Page 2

La diminution de la durée du traitement orthodontique présente aussi de nombreux avantages médicaux pour le patient. Il a été démontré que les résorptions radiculaires étaient corrélées à la durée du traitement, une accélération de celui-ci semble donc pouvoir diminuer ce risque. De plus, le risque de caries ou de problèmes parodontaux est augmenté en fonction de la durée du traitement, surtout en cas d'hygiène défavorable. Enfin, des études suggèrent que la stabilité du traitement est supérieure avec ce type de chirurgie, car le volume osseux semble être augmenté et la mémoire tissulaire diminuée. Ce dernier point doit encore être vérifié, d'où l'intérêt de notre projet de recherche.

Cette technique chirurgicale semble donc présenter de nombreux avantages, mais l'utilisation de cette procédure en pratique routinière n'est pas encore recommandée. En effet, trop peu d'études scientifiques fiables ont été publiées sur ce sujet, beaucoup d'entre elles ne sont que des rapports de cas. C'est pourquoi une étude pilote prospective évaluant l'intérêt réel de cette technique minimalement invasive est une première étape nécessaire, pour mettre en place une étude clinique randomisée contrôlée, et ainsi justifier ou non son utilisation.

III – Objectifs spécifiques et hypothèses de recherche

Les objectifs de notre étude sont:

L'objectif principal :

- Évaluer le temps de traitement complet. C'est une des critiques majeures, les articles publiés ne démontrent qu'une augmentation de la vélocité de la dent, mais ils ne calculent pas le temps de traitement global.

Les objectifs secondaires :

- Comparer la durée du traitement à un groupe contrôle déjà traité et apparié par le sexe, l'âge, le type de malocclusion, la biomécanique orthodontique utilisée et la séquence de fils afin de limiter les biais.

- Évaluer la qualité globale du traitement à l'aide de l'« American Board of Orthodontics' grading system », car un traitement doit être de qualité avant d'être rapide. Il faudrait qu'un ou deux observateurs externes fasse ceci pour plus d'impartialité et ainsi limiter les biais.

- Évaluer les changements de la densité et du volume osseux grâce à la tomographie volumique à faisceau conique ou Cone Beam Computerized Tomography (CBCT). Des études évoquent une augmentation de ceux-ci en fin de traitement ce qui pourrait avoir des effets bénéfiques sur la stabilité.

- Évaluation des résorptions radiculaires grâce au CBCT. Les PAOO semblent diminuer ce risque, mais il ne semble pas avoir été étudié pour les techniques minimalement invasives.

- Mesure des marqueurs inflammatoires dans le fluide gingival à l'aide de la quantification des Interleukine-1 (IL-1) (10). Ceci nous permettra de suivre l'évolution de l'inflammation au court du traitement.

- Mesure de l'activité ostéoclastique par analyse dans le fluide gingival des marqueurs RANKL et OPG (29).

- Évaluation de la douleur par Échelle Visuelle Numérique au court du traitement. Comme dit précédemment, tous les rapports de cas rapportent des suites post opératoires minimes, mais aucune étude prospective ne semble avoir été publiée à ce sujet.

Nos hypothèses de recherche sont :

- Hypothèse de recherche :
 - o Principale :
 - La durée du traitement orthodontique avec la piézocision est inférieure à 12 mois pour les dysmorphoses dentaires de classe I, II et III ne nécessitant pas d'extraction.
 - o Secondaires :
 - La durée du traitement orthodontique associé aux techniques minimalement invasive est différente que pour un traitement sans approche chirurgicale.
 - Les résorptions radiculaires sont minimales (<1mm).
 - La douleur est faible et devient minimale après 7 jours.
 - La qualité du traitement orthodontique est comparable entre les traitements orthodontiques avec ou sans piézocision.
- Hypothèse nulle :
 - o La durée du traitement orthodontique associée à la piézocision est la même que pour un traitement sans approche chirurgicale.

IV – Approche expérimentale et la méthodologie choisie pour l'acquisition et l'analyse des données spécifier

a) type de recherche :

- Étude pilote prospective.

b) Durée :

- L'étude sera d'environ 18 mois.

c) Caractéristiques des participants :

Taille de l'échantillon :

- Des groupes de 11 sujets permettent de rejeter l'hypothèse nulle d'égalité entre les groupes basé sur des durées moyennes de 18 et 24 mois (24), avec un écart-type de 4.6 (pouvoir=80%, alpha=0.05), en utilisant un test de t pour échantillons indépendants.
- Pour éviter un manque de puissance de notre étude lié au phénomène d'attrition des patients, nos groupes seront composés de 15 à 20 sujets.
- La cohorte sera composée de 50% de femmes et 50% hommes (ET=10%).
- Une série d'environ 30 cas déjà traités et appariés (groupe contrôle).

Critères d'inclusions :

- Classe I squelettique et Classe II légère (ANB=2±3°, Wits=1±3mm).
- Malocclusions dentaires ne nécessitant pas d'extraction:
 - Classe I avec «Irregularity index» faible (<4mm).
 - Classe II (div 1 ou 2) faible (<3mm).
 - Classe III Faible (<3mm).
- Adulte de 18 à 40 ans.
- En bonne santé.
- Denture adulte complète.

- Très coopératif.
- Sans plaque dentaire.
- Sans parodontite active et sans perte osseuse visible à la radiographie.
- Patient souhaitant un traitement orthodontique court.

Critères d'exclusions :

- Patient prenant régulièrement des analgésiques et des antidépresseurs.
- Patients ayant des problèmes d'abus d'alcool.
- Patient fumant plus de 10 cigarettes par jour.
- Patientes enceintes.
- Allergie aux anti-inflammatoires non-stéroïdiens.
- Immunodéficiences locales ou systémiques.
- Maladie systémique non-contrôlée (Par exemple diabète, maladie cardio-vasculaire).
- Problèmes de coagulation ou prenant des anti-coagulants.
- Présence d'infections buccodentaires ou maladies parodontales actives non-contrôlées.
- Prise de biphosphonates intraveineux ou prise de biphosphonates oraux depuis plus de 4 ans.
- Prise de corticostéroïdes à long terme.
- Antibio prophylaxie nécessaire avant toute chirurgie et prise d'antibiotiques dans les 6 mois précédant la chirurgie.

Modalité de recrutement :

Les patients adultes seront recrutés dans le service d'orthodontie de la faculté de médecine dentaire de l'Université de Montréal (UdeM).

Les patients contrôles appariés seront trouvés de façon rétrospective dans les cas déjà traités dans le même service d'orthodontie. Ils suivront les mêmes critères d'inclusions et d'exclusions.

d) Les procédures expérimentales et les équipements requis

Matériel

- CBCT : Il sera nécessaire pour déterminer :
 - Le volume et la densité osseuse.
 - Les résorptions et les fenestrations radiculaires.
 - Précisément la localisation des traits d'incisions piézoélectriques et faire le guide chirurgical correspondant.

Pour pouvoir évaluer l'évolution de l'ensemble de ces éléments, un CBCT pré et post traitement orthodontique est donc nécessaire.

Les doses reçues par le patient pour ce type d'imagerie sont d'environ 60 microSv (22) et sont 10 fois inférieures à celle d'un scanner CT conventionnel (1000-2500 microSv). De plus, les différentes reconstructions permettent d'éviter certains clichés conventionnels comme la panoramique (10microSv).

Le patient recevra des radiations d'environ 167,2 MicroSv (2 CBCT (60microSv), 2 céphalogrammes (11,2microSv) et d'une panoramique en milieu de traitement (12microSv). Elle aurait été de 47,2microSv pour un traitement traditionnel (1).

La dose permissible pour les patients est de 1000 microSv par année (1), nous serions donc bien en dessous de ce seuil. Il faut aussi la comparer à la « radiation de fond » provenant de l'environnement qui est de 3000 microSv par année pour une personne vivant en Amérique du Nord (1).

- Piézotome (Piezosurgery) pour réaliser les Piézocisions.

- Traitement orthodontique par boîtiers auto-ligaturant (Speed, Strite Industries).
- Échelle Visuelle Numérique sera remise au patient pour évaluer sa douleur.
- Quantification du IL-1, RANKL et OPG dans le fluide gingival du sulcus vestibulaire des dents 36, 32, 26 et 22 à l'aide d'un papier parodontal stérile (Pro-Flow, Amityville, NY). L'analyse se fera ensuite avec le test ELISA. Il serait opportun d'analyser également les VEGF mais nous sommes restreints par le nombre de prélèvements possible.
- Guide chirurgicale (Materialise, 3D systems).

Méthode

- Proposition du sujet au Comité d'éthique et scientifique.
- Sélection des patients potentiels et formulaire de consentement.
- CBCT prétraitement.
- Bilan parodontal réalisé sur toutes les dents après une calibration:
 - Profondeurs de poches (sur 6 sites par dent).
 - Niveau de la gencive marginale par rapport à la jonction amélo-cémentaire (6 sites par dent).
 - Indice de plaque (6 sites par dent, % de surfaces atteintes).
 - Indice de saignement (6 sites par dent, % de surfaces atteintes).
 - Mobilité (Miller index).
- Jour 0 (J0) : pose des boîtiers auto-ligaturant (Speed, Strite Industries).
- Septième jours (J7) après la mise en bouche des boîtiers : « Piézocisions »
 - Pour limiter les biais inter-chirurgiens :
 - Le protocole chirurgical sera standardisé.
 - Utilisation d'un guide chirurgical.
 - Randomisation inter-chirurgiens des patients.
 - Anesthésie gingivale topique.
 - Anesthésie locale maxillaire et mandibulaire.
 - Piézocisions réalisées au niveau des surfaces buccales en inter- proximales des arcades supérieures et inférieures du mésial des premières molaires de chaque côté. Un prélèvement de 1mm² de gencive sera réalisé pendant la chirurgie et gardé dans du trizol pour déterminer les facteurs du profil des gènes et des protéines inflammatoires.
 - Prescription d'antalgique de type acétaminophène® et de bain de bouche à la Chlorhexidine pendant 1 semaine.
- La séquence de fils prévu :
 - 0,014'' NiTi.
 - 0,018'' NiTi.
 - 0,018x0,025'' NiTi.
 - 0,018x0,025'' SS.
 - 0,019x0,025 TMA.
- Le patient sera vu toutes les 3 à 4 semaines pendant 4 mois (Durée du RAP) puis toutes les 6 à 8 semaines pour les suivantes. Nous avons choisi cet intervalle de temps car les dents, avec cette technique, devraient se déplacer deux fois plus vite.

- À chaque rendez-vous, un contrôle de la coopération sera réalisé (Hygiène, utilisation des élastiques inter-arcades).
- Évaluation de la douleur durant les 7 premiers jour après la chirurgie et le jour suivant le changement de fils par une échelle visuelle numérique. Le patient rentrera les données sur internet ou par téléphone.
- Prélèvement dans le fluide gingival des marqueurs IL-1, RANKL et OPG à J0 (avant la pose des boitiers), J7 (juste avant la chirurgie), J21, 2 mois, 4 mois et 6 mois.
- CBCT post-traitement.

e) Analyse statistique

Les fiabilités intra et inter évaluateurs des mesures de qualité globale du traitement, de densité et volume osseux et de résorption radiculaire seront évaluées sur 15 sujets à l'aide du coefficient de corrélation intraclasse.

La distribution des données sera évaluée avec le test de Shapiro-Wilk. Le groupe expérimental et le groupe contrôle seront comparés avec des tests de t pour échantillons indépendants si les distributions correspondent à la loi normale. Sinon, le test de Mann-Whitney sera utilisé pour comparer les groupes. La durée moyenne de traitement orthodontique et son intervalle de confiance de 95% seront présentés pour le groupe expérimental.

V- Résultats attendus

Les traitements orthodontiques accélérés par piézocision pour les malocclusions dentaires de classe I,II et III ne nécessitant pas d'extraction dentaire sont inférieurs à un an et sont plus rapides que pour un traitement conventionnel d'environ 50% (ET=30-70%).

LA durée du traitement passera en moyenne de 24 mois à moins de 12 mois avec un écart-type d'environ 4,6 mois (24).

Le cout bénéfice/risque est acceptable pour le patient et l'orthodontiste (Faible douleur, sans effet délétère dento-parontale).

VI- Échéancier prévu

Protocole : Octobre 2014.

Revue de la littérature : Avril 2015.

Comité scientifique : Novembre 2014.

Comité éthique : Janvier 2015.

Recrutements des patients : Janvier 2015 à Février 2015.

Collection des données : Février 2015 à Septembre 2016.

Rédaction du mémoire : Juin 2016 à Juin 2017.

VII - Limites de l'étude

Notre projet de recherche présente certaines limites. La principale est que notre groupe contrôle va être déterminé rétrospectivement. Nous randomiserons les patients sélectionnés, pour limiter les biais. Le niveau de preuve scientifique est donc inférieur à une étude « Randomized Control Trial ». Nous n'avons que 2 ans pour finir notre recherche, sachant que la durée d'un traitement classique oscille entre 24 et 30

mois, nous ne pouvions pas faire un groupe contrôle.
De plus, notre échantillon est relativement restreint et nous allons analyser que des malocclusions ne nécessitant pas d'extraction. Nous ne pourrions donc pas extrapoler nos résultats à l'ensemble de la population orthodontique.

Cependant, après analyse de la littérature, il semble que ce soit la première étude pilote prospective réalisée chez l'homme évaluant l'intérêt de cette technique. Elle apportera des éléments scientifiques essentiels sur la compréhension de cette nouvelle procédure chirurgicale comme la durée de traitement et son rapport-bénéfice/risque (fenestrations osseuses, douleur, résorptions radiculaires).

VIII – Rôle de l'étudiant

Mon rôle sera :

- Établir le protocole de recherche.
- Réaliser les examens orthodontiques.
- Réaliser le bilan parodontal pré et post-traitement.
- Réaliser le traitement orthodontique
- Planifier la coordination entre les services de parodontologie, de radiologie et d'orthodontie de l'UdeM.
- Trouver les patients appariés déjà traités.
- Prélèvement du fluide gingival et analyse des marqueurs du IL-1, RANKL et OPG à J0, J7, J21, 2 mois, 4 mois et 6 mois.
- Réaliser le formulaire de consentement.
- Obtenir le consentement éclairé du patient.
- Réaliser la compilation des données cliniques, radiologiques et biologiques.
- Analyse des données.
- Rédaction du mémoire.

Les intervenants extérieurs :

- Drs. René Voyer et Robert Durand: Piézocision / Calibration pour le bilan parodontal pré et post traitement.
- Dre. Karine El Feghali: Analyse des marqueurs par ELISA.
- Mr. Pierre Rompré: Statistiques.
- 2 examinateurs externes pour évaluer la qualité en fin de traitement selon l'« American Board of Orthodontics' grading system ».

IX – La source de financement

Demande de financement:

- Soutien de l'université à un projet en émergence.
- Fond Paul Geoffrion.

X – Références

- 1- Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. (2013). Clinical recommendations regarding use of cone beam computed tomography in orthodontics. [corrected]. Position statement by the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*

Nom : __Strippoli Julien_____ Date : _3-11-2014_____ Version _____ Page 8

- Oral Radiol*, 116(2), 238-257. doi: 10.1016/j.o000.2013.06.002
- 2- Caiazzo, F., Caiazzo, A., & Dibart, S. (2013). Lingual orthodontics: accelerated realignment of the "social six" with piezocision. *Compend Contin Educ Dent*, 34(8), 608-610.
 - 3- Dibart, S., Sebaoun, J. D., & Surmenian, J. (2009). Piezocision: a minimally invasive, periodontally accelerated orthodontic tooth movement procedure. *Compend Contin Educ Dent*, 30(6), 342-344, 346, 348-350.
 - 4- Dibart, S., Surmenian, J., Sebaoun, J. D., & Montesani, L. (2010). Rapid treatment of Class II malocclusion with piezocision: two case reports. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 30(5), 487-493.
 - 5- Dibart, S., Yee, C., Surmenian, J., Sebaoun, J. D., Baloul, S., Goguet-Surmenian, E., & Kantarci, A. (2014). Tissue response during Piezocision-assisted tooth movement: a histological study in rats. *Eur J Orthod*, 36(4), 457-464. doi: 10.1093/ejo/cjt079
 - 6- Frost, H. M. (1989). The biology of fracture healing. An overview for clinicians. *Part I. Clin Orthop Relat Res*(248), 283-293.
 - 7- Gantes, B., Rathbun, E., & Anholm, M. (1990). Effects on the periodontium following corticotomy-facilitated orthodontics. Case reports. *J Periodontol*, 61(4), 234-238. doi: 10.1902/jop.1990.61.4.234
 - 8- Generson, R. M., Porter, J. M., Zell, A., & Stratigos, G. T. (1978). Combined surgical and orthodontic management of anterior open bite using corticotomy. *J Oral Surg*, 36(3), 216-219.
 - 9- Gkantidis, N., Mistakidis, I., Kouskoura, T., & Pandis, N. (2014). Effectiveness of non-conventional methods for accelerated orthodontic tooth movement: A systematic review and meta-analysis. *J Dent*. doi: 10.1016/j.jdent.2014.07.013
 - 10- Huang, H., Williams R. C., Kyrkanides, S. (2014). Accelerated orthodontic tooth movement: Molecular mechanisms. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 146(5), 620-632. doi: 10.1016/j.ajodo.2014.07.007
 - 11- Hoogeveen, E. J., Jansma, J., & Ren, Y. (2014). Surgically facilitated orthodontic treatment: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 145(4 Suppl), S51-64. doi: 10.1016/j.ajodo.2013.11.019
 - 12- Keser, E. I., & Dibart, S. (2011). Piezocision-assisted Invisalign treatment. *Compend Contin Educ Dent*, 32(2), 46-48, 50-41.
 - 13- Keser, E. I., & Dibart, S. (2013). Sequential piezocision: a novel approach to accelerated orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 144(6), 879-889. doi: 10.1016/j.ajodo.2012.12.014
 - 14- Kim, S. J., Moon, S. U., Kang, S. G., & Park, Y. G. (2009). Effects of low-level laser therapy after Corticision on tooth movement and paradental remodeling. *Lasers Surg Med*, 41(7), 524-533. doi: 10.1002/lsm.20792
 - 15- Kim, S. J., Park, Y. G., & Kang, S. G. (2009). Effects of Corticision on paradental remodeling in orthodontic tooth movement. *Angle Orthod*, 79(2), 284-291. doi: 10.2319/020308-60.1
 - 16- Kole, H. (1959). Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 12(5), 515-529 concl.
 - 17- Long, H., Pyakurel, U., Wang, Y., Liao, L., Zhou, Y., & Lai, W. (2013). Interventions for accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod*, 83(1), 164-171. doi: 10.2319/031512-224.1
 - 18- Mathews, D. P., & Kokich, V. G. (2013). Accelerating tooth movement: the case against corticotomy-induced orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 144(1), 5-13. doi: 10.1016/j.ajodo.2013.04.008

- 19-Milano, F., Dibart, S., Montesani, L., & Guerra, L. (2014). Computer-guided surgery using the piezocision technique. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 34(4), 523-529. doi: 10.11607/prd.1741
- 20-Murphy, C. A., Chandhoke, T., Kalajzic, Z., Flynn, R., Utreja, A., Wadhwa, S., . . . Uribe, F. (2014). Effect of corticision and different force magnitudes on orthodontic tooth movement in a rat model. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 146(1), 55-66. doi: 10.1016/j.ajodo.2014.03.024
- 21-Navarro-Palacios, A., Garcia-Lopez, E., Meza-Rios, A., Armendariz-Borunda, J., & Sandoval-Rodriguez, A. (2014). Myeloperoxidase enzymatic activity is increased in patients with different levels of dental crowding after initial orthodontic activation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 146(1), 92-97. doi: 10.1016/j.ajodo.2014.04.015
- 22-Prasad, K. N., Cole, W. C., & Haase, G. M. (2004). Radiation protection in humans: extending the concept of as low as reasonably achievable (ALARA) from dose to biological damage. *British Journal of Radiology*, 77(914), 97-99.
- 23-Sebaoun, J. D., Surmenian, J., & Dibart, S. (2011). [Accelerated orthodontic treatment with piezocision: a mini-invasive alternative to conventional corticotomies]. *Orthod Fr*, 82(4), 311-319. doi: 10.1051/orthodfr/2011142
- 24-Skidmore, K. J., Brook, K. J., Thomson, W. M., & Harding, W. J. (2006). Factors influencing treatment time in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 129(2), 230-238. doi: 10.1016/j.ajodo.2005.10.003
- 25-Strippoli, J., & Akin, J. J. (2012). [Accelerated tooth movement by alveolar corticotomy or piezocision]. *Orthod Fr*, 83(2), 155-164. doi: 10.1051/orthodfr/2012015
- 26-Uribe, F., Padala, S., Allareddy, V., & Nanda, R. (2014). Patients', parents', and orthodontists' perceptions of the need for and costs of additional procedures to reduce treatment time. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 145(4 Suppl), S65-73. doi: 10.1016/j.ajodo.2013.12.015
- 27-Vercellotti, T., & Podesta, A. (2007). Orthodontic microsurgery: a new surgically guided technique for dental movement. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 27(4), 325-331.
- 28-Wilcko, W. M., Wilcko, T., Bouquot, J. E., & Ferguson, D. J. (2001). Rapid orthodontics with alveolar reshaping: two case reports of decrowding. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 21(1), 9-19.
- 29-Yamaguchi, M. (2009). RANK/RANKL/OPG during orthodontic tooth movement. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 12(2), 113-119. doi: 10.1111/j.1601-6343.2009.01444.

Annexe 2. Consentement



Faculté de médecine dentaire
Département de santé buccale

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

Évaluation des effets de la chirurgie parodontale piézoélectrique sur le traitement orthodontique: Étude pilote prospective

I) Chercheurs :

- Julien Strippoli,
Statut : DMD – Résident-chercheur, candidat à la maîtrise en médecine dentaire, option orthodontie,
Faculté de médecine dentaire – Section d'orthodontie, Université de Montréal.
Téléphone : 514-343-6056
Courriel : julien.strippoli@umontreal.ca

-Clarice Nishio,
Statut : DMD, Ph.D. Professeure adjointe à la Clinique d'orthodontie,
Faculté de médecine dentaire – Section d'orthodontie, Université de Montréal.
Courriel : clarice.nishio@umontreal.ca

- Matthieu Schmittbuhl,
Statut : D.M.D, MSc, Ph.D. Professeur titulaire et Chef du service d'imagerie buccale et maxillo-faciale,
Faculté de médecine dentaire – Section de radiologie, Université de Montréal.

- René Voyer,
Statut : D.M.D. M. Sc., Chef du service clinique de parodontie, Vice-doyen aux affaires cliniques et professionnelles,
Faculté de médecine dentaire – Section de parodontie, Université de Montréal.

- Robert Durand,
Statut : D.M.D., M.Sc., Co-chef du service clinique de dentisterie préventive et communautaire,
Faculté de médecine dentaire – Section de dentisterie préventive et communautaire, Université de Montréal

Ce projet de recherche est financé par le fond d'aide interne « Projet collaboratif émergeant ».

Vous êtes invités à participer à un projet de recherche. Avant d'accepter d'y participer, veuillez prendre le temps de lire ce document présentant les conditions de participation au projet. N'hésitez pas à poser toutes les questions que vous jugerez utiles à la personne qui vous présente ce document.

II) Description du projet de recherche

La participation à cette étude est entièrement volontaire et bénévole. Veuillez prendre le temps de lire attentivement ce formulaire d'information et de consentement. Nous vous invitons ensuite à poser toutes les questions nécessaires pour votre compréhension.

Le projet de recherche vise à évaluer les effets d'une chirurgie parodontale minimalement invasive sur le traitement orthodontique. Nous analyserons l'évolution de l'os, de la douleur et du temps de traitement.

III) Nature et objectifs du projet de recherche

La chirurgie piézoélectrique des gencives a été développée dans le but d'accélérer le mouvement des dents et de réduire la durée du traitement orthodontique, tout en ayant un rapport bénéfice-risque acceptable pour le patient et l'orthodontiste. Cette procédure consiste à créer des petites-incisions dans l'os entre les dents à l'aide d'un instrument très fin. Cet instrument ressemble à l'embout utilisé pour les nettoyages dentaire. Il est sécuritaire et peu traumatique car il n'est pas nécessaire d'ouvrir la gencive lors de la chirurgie piézoélectrique, ce qui diminue la douleur et l'enflure postopératoire.

L'augmentation de la demande des patients adultes en quête de résultats orthodontiques rapides et le nombre de publications scientifiques sur cette nouvelle technique montrent le grand intérêt que les patients et les orthodontistes ont pour cette thérapeutique. Ce traitement est utilisé depuis quelques années en cabinet privé. Cependant, malgré le nombre de patients traités par cette technique, l'évaluation complète de ces effets ne semble pas avoir été fait.

Le but de ce projet est donc d'évaluer le temps de traitement orthodontique avec cette approche combinée, ainsi que de suivre l'évolution de la guérison des gencives et de l'os. La douleur sera évaluée, à l'aide d'une réglette, durant les 7 premiers jours après la chirurgie et le jour suivant le changement de fils. Vous devrez noter les scores sur une feuille que l'on vous fournira. Nous espérons que les résultats de cette étude permettront d'apporter des éléments scientifiques fiables pour justifier l'utilisation de cette thérapeutique en pratique quotidienne.

Nous souhaitons recruter une quinzaine de patients adultes, âgés de 18 à 40 ans et en bonne santé. Chaque patient aura :

- Un examen orthodontique et parodontal complet, incluant des photos et des empreintes.
- Un examen radiologique avant et après le traitement (Cone Beam Computed Tomography Scan (CBCT)),
- La chirurgie piézoélectrique des gencives
- Des prélèvements de fluide gingival à l'aide de petites pointes de papier stérile qui seront insérées délicatement entre la gencive et la dent (à six reprises pendant le traitement)
- Un traitement orthodontique

Votre coopération est cruciale dans cette étude car pour avoir un effet optimal du traitement ainsi que pour donner des résultats représentatifs, reproductibles et valables d'un participant à l'autre, nous vous demandons de suivre rigoureusement les instructions données par les différents cliniciens.

IV) Nature, durée et conditions de participation

Votre décision sur la participation à cette étude n'aura aucune influence sur le droit d'être candidat pour la clinique de choix. Lors de la sélection des candidats potentiels, un spécialiste des gencives (parodontiste) sera présent avec l'orthodontiste pour vérifier si le patient peut effectivement recevoir une chirurgie piézoélectrique minimalement invasive. La participation à l'étude ou non n'affectera en rien la qualité du traitement d'orthodontie espérée. Les femmes enceintes ne pourront être admises dans la recherche car les modifications hormonales peuvent modifier le métabolisme osseux et augmenter les risques de gingivite de grossesse, ce qui pourrait modifier les résultats. Vous serez comparé à un autre groupe de patient déjà traité.

<p>4 ≈2h00</p>		<p>Cette visite se fera dans le service de parodontologie de l'université de Montréal.</p> <p>Juste avant la chirurgie, un prélèvement de votre fluide gingival sera réalisé à l'aide d'une pointe de papier stérile. Ensuite, sous anesthésie locale, la procédure chirurgicale minimalement invasive sera faite, ainsi que la biopsie de votre gencive (optionnelle). Vous repartirez avec une prescription d'analgésique, de type acétaminophène (Tylenol®), si besoin nous vous prescrivons un analgésique contenant de l'acétaminophène et de la codéine (Empracet®) et de rince bouche antiseptique à la Chlorhexidine pendant une semaine.</p>
<p>5 ≈2h00</p>	<p>Le résident posera les boitiers orthodontiques (également appelés « broches »), le même jour que la chirurgie.</p>	
<p>Durant les 4 1^{er} mois</p>	<p>Les rendez-vous auraient été toutes les 6 semaines environs pour un traitement conventionnel.</p>	<p>Vous aurez des rendez-vous tous les 21 à 28 jours car la vitesse de déplacement des dents devrait être maximale pendant cette période. A 2 mois, une nouvelle biopsie de la gencive sera réalisée sous anesthésie locale.</p>
<p>Du 4^{ème} mois jusqu'à la fin du traitement</p>	<p>Les rendez-vous seront ensuite, comme pour le traitement orthodontique conventionnel i.e., tous les 4 à 6 semaines.</p>	
<p>Fin du traitement</p>	<p>Retrait des broches et mise en place des contentions. Enregistrement des données finales à l'aide de photos et de modèles d'études finaux.</p>	<p>Un nouveau CBCT sera réalisé, ainsi qu'un examen parodontal identique à celui de la première séance.</p>
<p>Suivie (Rétention)</p>	<p>Les visites se feront à six mois et un an après le retrait des broches.</p>	

V) Bénéfices/Avantages et Risques/inconvénients

V) 1- Bénéfices et avantages escomptés

La durée du traitement orthodontique pourrait être diminuée de moitié environ, soit environ 18 mois
 Les résorptions des racines pourraient également diminuer, ainsi que le risque d'avoir des caries.
 Le traitement pourrait être plus stable à long terme.
 Si vous êtes sélectionné pour cette étude, cela vous évitera de passer par le tirage au sort de la clinique de choix et vous serez traité plus rapidement.

V) 2- Risques et inconvénients encourus

-Les risques :

Lié à l'orthodontie	Lié à la procédure chirurgicale piézoélectrique	Lié à l'examen radiologique CBCT
Certains risques sont inhérents à un traitement d'orthodontie : les caries, les sensibilités dentaires, ou la perte de la vitalité d'une dent (voir en annexe: informations générales, risques potentiels, limitation de l'orthodontie)	Il est possible que vous ressentiez un certain inconforts ou des douleurs après la chirurgie. Ces douleurs devraient être contrôlable avec de l'acétaminophène (Tylenol [®]) au besoin associé avec de la codéine (Empracet [®]) Des effets, même s'ils sont rares, sur les dents et la gencive peuvent également être possible comme la diminution de la hauteur gingivale ou la perte de la vitalité dentaire ce qui peut nécessiter un traitement de canal.	Le CBCT est un examen qui utilise des rayons X, toutefois les doses délivrées sont 10 fois inférieures à un scanner conventionnel. Afin d'éviter tout risque de sur-exposition, nous vous demanderons de nous informer de toutes expositions antérieures antérieures.(Radiothérapie, scanner, etc.)

-Les inconvénients :

Vous devrez vous déplacer plus fréquemment à la clinique d'orthodontie car les rendez-vous seront plus rapprochés les 4 premiers mois après la chirurgie. Ces premiers rendez-vous sont importants car les dents devraient se déplacer plus rapidement.
 Vous serez traités avec des broches en métal, comme tous les autres patients de ce projet, afin d'avoir des conditions de traitement comparables entre les patients.

VI) Compensation

Il n'y a pas de compensation financière pour la participation à cette étude. Il n'y a pas de coût supplémentaire par rapport à un traitement orthodontique conventionnel réalisé à l'Université de Montréal. Les coûts supplémentaires engendrés par ce type de procédure seront à la charge de l'équipe de recherche.

VII) Complications en cours de traitement

Les horaires de la clinique d'orthodontie sont du lundi au vendredi de 9h00 à 12h00 et de 13h30 à 16h30. Si vous avez un problème lié à votre traitement d'orthodontie, vous pouvez contacter la clinique aux horaires susmentionnés. Si le problème survient en dehors des heures d'ouverture de la clinique, veuillez contacter le Dr Julien Strippoli au [REDACTED] (cellulaire).

Si vous développez une complication liée à la procédure chirurgicale, vous pouvez contacter un des chirurgiens soit le Dr Robert Durand au [REDACTED] (bureau) ou au [REDACTED] (maison) ou le Dr René Voyer au [REDACTED] (bureau) ou au [REDACTED] (maison).

VIII) Diffusion des résultats

Vous pourrez communiquer avec l'équipe de recherche afin d'obtenir de l'information sur l'avancement des travaux ou les résultats du projet de recherche. Les résultats principaux de notre projet de recherche vous seront communiqués ensuite par la poste ou par courriel à la fin du projet. Cependant, les résultats concernant l'analyse de la biopsie ne vous seront pas transmis.

Adresse courriel : julien.strippoli@umontreal.ca

XI) Protection de la confidentialité

Durant votre participation à ce projet, l'équipe de recherche recueillera dans un dossier de recherche (à distinguer du dossier clinique) les données dentaires, parodontales, radiologiques ainsi que celles fournies par les marqueurs biologiques des cellules osseuses. Tous les renseignements recueillis demeureront strictement confidentiels. Vous serez identifié par un numéro de code auquel seul l'équipe de recherche aura accès. La clé du code, reliant son nom au dossier de recherche, sera conservée par le chercheur responsable. Les données de recherche seront conservées pendant 25 ans après la fin de l'étude et seront détruites par la suite.

Vous avez le droit de consulter votre dossier de recherche pour vérifier les renseignements recueillis, et les faire rectifier au besoin, et ce, aussi longtemps que le chercheur responsable du projet ou l'établissement détiennent ces informations. Cependant, afin de préserver l'intégrité scientifique du projet, vous pourriez n'avoir accès à certaines de ces informations qu'une fois votre participation terminée. Pour des raisons de surveillance et de contrôle de la recherche, son dossier pourra être consulté par une personne mandatée par le Comité d'éthique de la recherche en santé (CERES) de l'Université de Montréal. Toutes ces personnes respecteront la politique de confidentialité.

Vos données pourront être publiées dans des revues scientifiques ou des congrès mais il ne sera pas possible de vous identifier.

X) Droit de retrait

Vous pouvez retirer votre participation à cette étude à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raison. Vous avez simplement à aviser la personne-ressource de l'équipe de recherche et ce, par simple avis verbal. Cependant, veuillez noter qu'il sera impossible de retirer vos données car cela pourrait compromettre la validité scientifique du projet.

X) Responsabilité de l'équipe de recherche

En acceptant de participer à cette étude, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, le commanditaire ou l'établissement de leurs responsabilités civiles et professionnelles.

En fonction de l'évolution du traitement, les patients auront des visites tous les 3 à 4 semaines pendant 4 mois puis toutes les 4 à 6 semaines jusqu'à la fin de l'étude. La durée de recherche pourrait être environ de 18 mois en fonction de la rapidité d'évolution du traitement. La proximité des premiers rendez-vous est nécessaire pour l'étude et pour que le traitement progresse à la vitesse espérée. En cas de manquement important des rendez-vous ou des instructions des différents cliniciens, vous pourriez être exclus de l'étude. Cependant, votre traitement serait continué jusqu'à terme au service d'orthodontie de l'Université de Montréal.

Un petit morceau de votre gencive (biopsie) sera prélevé juste avant la chirurgie. Ces tissus seront analysés pour des facteurs d'inflammation, de douleur et de réparation tissulaire. Ces analyses permettront de connaître de façon plus détaillée l'efficacité du traitement.

Votre participation à ce projet est tout à fait volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer sans que cela n'affecte la qualité des soins dentaires que vous recevrez en tant que patient à la clinique de la Faculté de médecine dentaire. Vous pouvez également vous retirer de l'étude à n'importe quel moment sans justification particulière. Vous avez simplement à aviser le chercheur responsable du projet ou l'un des membres de l'équipe. L'analyse génétique est optionnelle, vous êtes donc libre également de refuser la biopsie de votre gencive.

Selon les procédures habituelles à la clinique d'orthodontie de l'Université de Montréal, le résident en orthodontie traitera le patient sous la direction du professeur responsable. Les démarches exigées dans le cadre de ce projet de recherche consistent en des visites pour examiner les gencives et des radiographies additionnelles.

Voici la liste des visites habituelles demandées, ainsi que les démarches faites dans le cadre de ce projet de recherche :

Visite	Procédure clinique standard	Procédure qui s'ajoute en participant au projet de recherche
1 ≈2h30	Examen orthodontique complet : il consiste en la prise des données initiales essentielles dans le but de poser un diagnostic et confirmer la nécessité d'un traitement orthodontique : photographies, modèles d'études, examen clinique (l'examen est une procédure habituelle avant chaque traitement d'orthodontie). Le projet de recherche vous sera présenté et expliqué de façon plus précise	Un examen parodontal (des gencives) sera réalisé pour évaluer votre gencive.
2 ≈30min	Présentation du plan de traitement.	Coordination des rendez-vous entre le service de radiologie, de parodontologie et d'orthodontie.
3		Un examen radiologique de type Cone Beam CT sera réalisé au service d'imagerie buccale et maxillo-faciale de l'Université de Montréal. Cet examen nous permettra d'évaluer vos structures osseuses et de planifier la chirurgie

Ce projet a été approuvé par le Comité d'éthique de la recherche en santé de l'Université de Montréal.
 Projet no 15-002-CERES-P

XI) Personnes-ressources

Si vous avez des questions sur les aspects scientifiques du projet de recherche, vous pouvez contacter le Dr Julien Strippoli, à julien.strippoli@umontreal.ca ou Dre Clarice Nishio à clarice.nishio@umontreal.ca. Si vous voulez vous retirer de l'étude, vous pouvez contacter Dre Clarice Nishio au [REDACTED] ou Julien Strippoli aux deux adresses courrielles précédentes.

Pour toute préoccupation sur vos droits ou sur les responsabilités des chercheurs concernant votre participation à ce projet, vous pouvez contacter le conseiller en éthique du Comité d'éthique de la recherche en santé (CERES) :

Courriel: ceres@umontreal.ca

Téléphone au (514) 343-6111 poste 2604

Site Web: <http://recherche.umontreal.ca/participants>.

Toute plainte concernant cette recherche peut être adressée à l'ombudsman de l'Université de Montréal, au numéro de téléphone (514) 343-2100 ou à l'adresse courriel ombudsman@umontreal.ca. L'ombudsman accepte les appels à frais virés. Il s'exprime en français et en anglais et prend les appels entre 9h et 17h.

En vertu des exigences réglementaires canadiennes et américaines, une description de cet essai clinique sera consignée dans un registre électronique accessible en ligne à l'adresse suivante : <http://www.clinicaltrials.gov>. Aucune information vous concernant n'est incluse sur ce site web. Tout au plus, certains résultats de recherche y seront présentés. Vous pouvez consulter ce registre en tout temps. Le numéro d'identification du présent essai clinique est le : NCT02359760
Notez que le site ClinicalTrials.gov est en langue anglaise seulement.

Annexe 3. Questionnaire sur la douleur

QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA DOULEUR ET DE L'INCONFORT

Pour projet intitulé:
« Évaluation des effets de la chirurgie parodontale piézoélectrique sur le
traitement orthodontique: Étude pilote prospective»

Nom, Prénom : _____
No. dossier _____ Age: _____ Sexe: (1) F (2) M

Date _____

A. Au cours de la dernière semaine, avant la chirurgie de piézocision et/ou le début du traitement orthodontique (T0):

1) Avez-vous ressenti des douleurs en bouche?

- Non Oui, En haut Oui, En bas Oui, Les deux

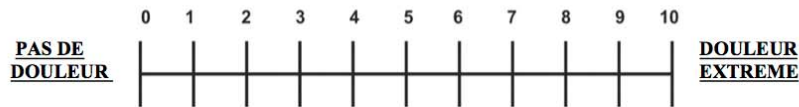
Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les dents**.



Région des dents :

- Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les gencives**.



Région des gencives :

- Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les joues**



Région des gencives :

- Haut Bas Antérieure Postérieure

2) Avez-vous de la difficulté à parler? (1) Non (2) Oui

3) Avez-vous de la difficulté à mastiquer? (1) Non (2) Oui

4) Avez-vous des problèmes de déglutition? (1) Non (2) Oui

5) Cochez ce qui affecte votre style de vie?

- Activité récréative préférée
 A l'école/travail
 Durant sommeil
 Socialement
 Autre : _____

6) Avez-vous pris des antalgiques cette journée là? (1) Non (2) Oui

7) Si oui, lequel et combien ? _____

B. 3 heures après la chirurgie (T1)

1) Avez-vous ressenti des douleurs en bouche?

Non Oui, En haut Oui, En bas Oui, Les deux

Sur l'échelle, encerlez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les dents**.



Région des dents :

Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerlez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les gencives**.



Région des gencives :

Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerlez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les joues**



Région des gencives :

Haut Bas Antérieure Postérieure

2) Avez-vous de la difficulté à parler? (1) Non (2) Oui

3) Avez-vous de la difficulté à mastiquer? (1) Non (2) Oui

4) Avez-vous des problèmes de déglutition? (1) Non (2) Oui

5) Cochez ce qui affecte votre style de vie?

- Activité récréative préférée
- A l'école/travail
- Durant sommeil
- Socialement
- Autre : _____

6) Avez-vous pris des antalgiques cette journée là? (1) Non (2) Oui

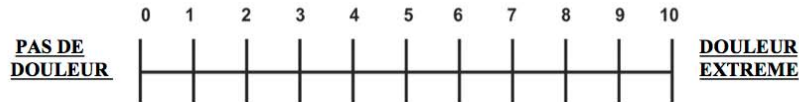
7) Si oui, lequel et combien ? _____

C. 24 heures après la chirurgie (T2)

1) Avez-vous ressenti des douleurs en bouche?

Non Oui, En haut Oui, En bas Oui, Les deux

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les dents**.



Région des dents :

Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les gencives**.



Région des gencives :

Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les joues**



Région des gencives :

Haut Bas Antérieure Postérieure

2) Avez-vous de la difficulté à parler? (1) Non (2) Oui

3) Avez-vous de la difficulté à mastiquer? (1) Non (2) Oui

4) Avez-vous des problèmes de déglutition? (1) Non (2) Oui

5) Cochez ce qui affecte votre style de vie?

- Activité récréative préférée
 A l'école/travail
 Durant sommeil
 Socialement
 Autre : _____

6) Avez-vous pris des antalgiques cette journée là? (1) Non (2) Oui

7) Si oui, lequel et combien ? _____

D. 48 heures après la chirurgie (T3)

1) Avez-vous ressenti des douleurs en bouche?

Non Oui, En haut Oui, En bas Oui, Les deux

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les dents**.



Région des dents :

Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les gencives**.



Région des gencives :

Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les joues**



Région des gencives :

Haut Bas Antérieure Postérieure

2) Avez-vous de la difficulté à parler? (1) Non (2) Oui

3) Avez-vous de la difficulté à mastiquer? (1) Non (2) Oui

4) Avez-vous des problèmes de déglutition? (1) Non (2) Oui

5) Cochez ce qui affecte votre style de vie?

- Activité récréative préférée
- A l'école/travail
- Durant sommeil
- Socialement
- Autre : _____

6) Avez-vous pris des antalgiques cette journée là? (1) Non (2) Oui

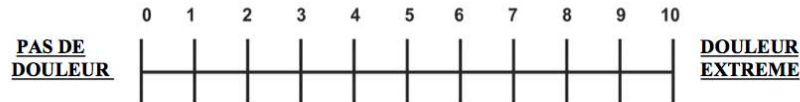
7) Si oui, lequel et combien ? _____

E. 3 jours après la chirurgie (T4)

1) Avez-vous ressenti des douleurs en bouche?

Non Oui, En haut Oui, En bas Oui, Les deux

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les dents**.



Région des dents :

Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les gencives**.



Région des gencives :

Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les joues**



Région des gencives :

Haut Bas Antérieure Postérieure

8) Avez-vous de la difficulté à parler? (1) Non (2) Oui

9) Avez-vous de la difficulté à mastiquer? (1) Non (2) Oui

10) Avez-vous des problèmes de déglutition? (1) Non (2) Oui

11) Cochez ce qui affecte votre style de vie?

- Activité récréative préférée
- A l'école/travail
- Durant sommeil
- Socialement
- Autre : _____

12) Avez-vous pris des antalgiques cette journée là? (1) Non (2) Oui

13) Si oui, lequel et combien ? _____

F. 4 jours après la chirurgie (T5)

1) Avez-vous ressenti des douleurs en bouche?

- Non Oui, En haut Oui, En bas Oui, Les deux

Sur l'échelle, encerlez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les dents**.



Région des dents :

- Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerlez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les gencives**.



Région des gencives :

- Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerlez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les joues**



Région des gencives :

- Haut Bas Antérieure Postérieure

2) Avez-vous de la difficulté à parler? (1) Non (2) Oui

3) Avez-vous de la difficulté à mastiquer? (1) Non (2) Oui

4) Avez-vous des problèmes de déglutition? (1) Non (2) Oui

5) Cochez ce qui affecte votre style de vie?

- Activité récréative préférée
 A l'école/travail
 Durant sommeil
 Socialement
 Autre : _____

6) Avez-vous pris des antalgiques cette journée là? (1) Non (2) Oui

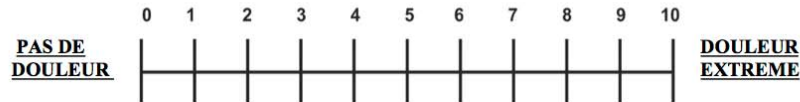
7) Si oui, lequel et combien ? _____

G. 5 jours après la chirurgie (T6)

1) Avez-vous ressenti des douleurs en bouche?

Non Oui, En haut Oui, En bas Oui, Les deux

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les dents**.



Région des dents :

Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les gencives**.



Région des gencives :

Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les joues**



Région des gencives :

Haut Bas Antérieure Postérieure

2) Avez-vous de la difficulté à parler? (1) Non (2) Oui

3) Avez-vous de la difficulté à mastiquer? (1) Non (2) Oui

4) Avez-vous des problèmes de déglutition? (1) Non (2) Oui

5) Cochez ce qui affecte votre style de vie?

- Activité récréative préférée
- A l'école/travail
- Durant sommeil
- Socialement
- Autre : _____

6) Avez-vous pris des antalgiques cette journée là? (1) Non (2) Oui

7) Si oui, lequel et combien ? _____

H. 6 jours après la chirurgie (T7)

1) Avez-vous ressenti des douleurs en bouche?

Non Oui, En haut Oui, En bas Oui, Les deux

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les dents**.



Région des dents :

Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les gencives**.



Région des gencives :

Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les joues**



Région des gencives :

Haut Bas Antérieure Postérieure

2) Avez-vous de la difficulté à parler? (1) Non (2) Oui

3) Avez-vous de la difficulté à mastiquer? (1) Non (2) Oui

4) Avez-vous des problèmes de déglutition? (1) Non (2) Oui

5) Cochez ce qui affecte votre style de vie?

- Activité récréative préférée
 A l'école/travail
 Durant sommeil
 Socialement
 Autre : _____

6) Avez-vous pris des antalgiques cette journée là? (1) Non (2) Oui

7) Si oui, lequel et combien ? _____

I. 7 jours après la chirurgie (T8)

1) Avez-vous ressenti des douleurs en bouche?

- Non Oui, En haut Oui, En bas Oui, Les deux

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les dents**.



Région des dents :

- Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les gencives**.



Région des gencives :

- Haut Bas Antérieure Postérieure

Sur l'échelle, encerclez le numéro qui représente l'intensité de la douleur sur **les joues**



Région des gencives :

- Haut Bas Antérieure Postérieure

2) Avez-vous de la difficulté à parler? (1) Non (2) Oui

3) Avez-vous de la difficulté à mastiquer? (1) Non (2) Oui

4) Avez-vous des problèmes de déglutition? (1) Non (2) Oui

5) Cochez ce qui affecte votre style de vie?

- Activité récréative préférée
 A l'école/travail
 Durant sommeil
 Socialement
 Autre : _____

6) Avez-vous pris des antalgiques cette journée là? (1) Non (2) Oui

7) Si oui, lequel et combien ? _____

8) Referiez-vous cette chirurgie ? (1) Non (2) Oui

