

Université de Montréal

**Comparaison entre la simulation d’alignement du
ClinCheck® et les modèles numériques finaux des patients
traités par la technique Invisalign® avec ou sans l’appareil
AcceleDent®**

par

Caroline Blais

Département de santé buccale - Section d’orthodontie
Faculté de médecine dentaire

Mémoire présenté à la Faculté des Études supérieures
en vue de l’obtention du grade de
M.Sc. (médecine dentaire), option orthodontie

Avril 2016

© Caroline Blais, 2016

Université de Montréal
Faculté des Études supérieures

Ce mémoire intitulé :
Comparaison entre la simulation d'alignement du ClinCheck® et les modèles numériques finaux
des patients traités par la technique Invisalign® avec ou sans l'appareil AcceleDent®

Présenté par :
Caroline Blais

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Dr Hicham El-Khatib, président-rapporteur
Dre Andrée Montpetit, directrice de recherche
Dr Kenneth Lam, membre du jury

Résumé

INTRODUCTION: Alors qu'il existe aujourd'hui différents genres de traitements orthodontiques esthétiquement acceptables, les patients s'inquiètent maintenant de la durée des traitements. L'appareil AcceleDent® a été introduit sur le marché par OrthoAccel Technologies en 2009. Ce dispositif, placé entre les dents pendant 20 minutes par jour, vibre à une fréquence de 30 Hz et est préconisé pour accélérer le traitement. L'objectif primaire est d'évaluer la précision de la simulation ClinCheck® par rapport aux résultats finaux réels pour les deux groupes. L'objectif secondaire est de déterminer si le résultat final est influencé par une progression plus rapide des gouttières d'alignement.

MATÉRIELS & MÉTHODES: Une étude rétrospective qui comprend 38 patients traités avec la technique Invisalign®. Le groupe expérimental, c'est-à-dire celui qui utilise l'AcceleDent®, comprend 13 patients tandis que le groupe contrôle inclut 25 patients. La sévérité de la malocclusion a été quantifiée avec le «Discrepancy Index de l'ABO». Concernant la prédiction des résultats de la simulation ClinCheck® et le résultat du traitement final, l'«Objective Grading System de l'ABO » a été utilisé pour quantifier ces derniers. Toutes les données ont été prises à partir du logiciel OrthoCAD (Cadent, Fairview, NJ).

RÉSULTATS ET DISCUSSION: Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre la malocclusion des 2 groupes. ($p=0,761$). Pour les résultats finaux, il existe une différence statistiquement significative. L'alignement est meilleur dans le groupe contrôle ($p=0,002$). Au sein de chaque groupe, la différence entre les résultats prédits et réels n'est pas statistiquement significative ($p=0,056$). L'utilisation de l'AcceleDent® semble donner un surplomb horizontal plus proche de celui prédit, cependant ceci n'est pas cliniquement significatif.

CONCLUSION: L'utilisation de l'appareil AcceleDent® combiné à une progression plus rapide des coquilles aux sept jours influence négativement l'alignement final chez les patients traités par la technique Invisalign®.

Mots-clés : Invisalign®, ClinCheck®, AcceleDent®, orthodontie, alignement

Abstract

INTRODUCTION: While there are presently many different options for aesthetic orthodontic treatment, patients are now concerned with the length of treatment. The AcceleDent® device was introduced by OrthoAccel Technologies in 2009. This device is placed between the teeth for 20 minutes a day, vibrates at a frequency of 30 Hz and is recommended to accelerate orthodontic treatment. This study's primary objective is to evaluate the accuracy of the ClinCheck® simulation versus the actual final results. The secondary objective is to determine if the end result is influenced by the increased rate of treatment progression with the aligners.

MATERIALS AND METHODS: A retrospective study design was used with 38 patients treated with Invisalign®. The experimental group consisted of 13 patients, while the control group included 25 patients. The severity of malocclusion was quantified with the Discrepancy Index approved by the American Board of Orthodontics. In addition, the ABO's Objective Grading System was used to compare the prediction of the final result provided by the ClinCheck® simulation and the actual final treatment result. All data were taken from the OrthoCAD software (Cadent, Fairview, NJ).

RESULTS AND DISCUSSION: There is no statistically significant difference between the two groups regarding their initial malocclusion ($p=0.761$). For the final results, there is a statistically significant difference. The alignment is better in the control group ($p=0.002$). Within each group, the difference between the predicted and the actual results are not statistically significant ($p=0.056$). The use of AcceleDent® seems to give an overjet similar to that which was predicted; however, this finding is not clinically significant.

CONCLUSION: The use of the AcceleDent® combined with changing aligners every seven days negatively influence the final alignment in patients treated with Invisalign®.

Keywords: Invisalign®, ClinCheck®, AcceleDent®, orthodontic, alignment

Table des matières

Résumé.....	iii
Abstract.....	iv
Table des matières.....	v
Liste des tableaux.....	viii
Liste des figures.....	ix
Liste des abréviations.....	xi
Remerciements.....	xiii
1 Introduction.....	1
2 Recension des écrits scientifiques.....	2
2.1 Techniques orthodontiques esthétiques.....	2
2.1.1 Boîtiers transparents.....	2
2.1.2 Boîtiers au lingual.....	3
2.1.3 Gouttières claires thermoformées.....	3
2.1.3.1 Historique.....	3
2.1.3.2 Technique Invisalign®.....	4
2.2 L’anatomie du parodonte.....	5
2.2.1 La gencive.....	6
2.2.1.1 La gencive libre ou marginale.....	6
2.2.1.2 La gencive attachée.....	6
2.2.1.3 La muqueuse alvéolaire.....	6
2.2.1.4 Les fibres de collagènes.....	6
2.2.2 Le ligament parodontal.....	7
2.2.3 Le cément.....	8
2.2.4 L’os alvéolaire.....	8
2.3 Le principe du mouvement dentaire.....	8
2.4 Facteurs importants pour le traitement orthodontique.....	10
2.4.1 Durée du traitement.....	10
2.4.2 Qualité du résultat avec Invisalign®.....	11

2.5	Moyens pour accélérer le traitement orthodontique	12
2.5.1	Des méthodes pharmacologiques.....	12
2.5.1.1	Prostaglandines	12
2.5.1.2	1,25-dihydroxycholécalférol (1,25,DHCC)	13
2.5.1.3	Ostéocalcine	13
2.5.1.4	Hormone parathyroïdienne	13
2.5.1.5	Glucocorticoïdes	14
2.5.2	Des méthodes chirurgicales	14
2.5.2.1	Fibrotomie supracrestale.....	14
2.5.2.2	Distractions dentoalvéolaires	14
2.5.2.3	Corticotomies.....	16
2.5.2.4	Orthodontie accélérée par assistance ostéogénique parodontale	17
2.5.2.5	Piézocision	18
2.5.2.6	Micro-ostéoperforations.....	20
2.5.3	Des méthodes physiques	21
2.5.3.1	Une radiation avec laser à basse énergie.....	21
2.5.3.2	La résonance vibratoire.....	21
2.6	La nouvelle technologie	22
2.6.1	Le logiciel OrthoCAD.....	22
2.6.2	L'AcceleDent®.....	23
2.6.3	Le logiciel ClinCheck®	26
2.7	American Board of Orthodontics Objective Grading System	27
3	Objectifs et hypothèses de l'étude	28
3.1	Objectifs.....	28
3.1.1	Objectif primaire.....	28
3.1.2	Objectif secondaire	28
3.2	Hypothèses	28
3.2.1	Hypothèses expérimentales.....	28
3.2.2	Hypothèses nulles	28
4	Matériels et Méthodes.....	29
4.1	Échantillonnage.....	29

4.2	Procédure expérimentale.....	30
5	Article	35
	Résumé.....	36
	Introduction.....	37
	Matériels et méthodes	39
	Analyses statistiques	40
	Résultats.....	41
	Comparaison du DI.....	41
	Comparaison du OGS	42
	Comparaison entre le résultat prédit et le résultat final chez les deux groupes	45
	Fiabilité intra-opérateur et inter-opérateur.....	47
	Discussion.....	48
	Conclusion	50
	Conflit d'intérêts.....	50
6	Discussion.....	51
6.1	Vérification des hypothèses	51
6.2	Importance clinique	51
6.3	Limitation de l'étude.....	51
7	Conclusion	52
8	Source de financement.....	53
9	Bibliographie.....	54
10	Annexes.....	58

Liste des tableaux

Tableau I : Réponse physiologique à une pression légère.....	10
Tableau II : Réponse physiologique à une pression forte	10
Tableau III : Mesures des analyses	27
Tableau IV : Explication de l'échantillonnage final.....	29
Tableau V : Feuille pour inscrire le score du DI.....	32
Tableau VI : Feuille pour inscrire le score du OGS	33
Tableau VII : Explication de l'échantillonnage final.....	40

Liste des figures

Figure 1 : Boîtiers transparents	2
Figure 2 : Technique linguale	3
Figure 3 : Processus de fabrication des gouttières Invisalign®	4
Figure 4 : Gouttières Invisalign®	5
Figure 5 : Anatomie du parodonte	5
Figure 6 : Fibres de collagènes de la gencive	7
Figure 7 : Fibres du ligament parodontal	8
Figure 8 : Schéma d'une distraction dentoalvéolaire	15
Figure 9 : Exemple clinique d'une distraction dentoalvéolaire	16
Figure 10 : Corticotomies et greffe osseuse	18
Figure 11 : Technique de piézocision	19
Figure 12 : Micro-ostéoperforations	20
Figure 13 : Logiciel OrthoCAD	23
Figure 14 : AcceleDent Aura®	24
Figure 15 : Embout USB de l'AcceleDent Aura®	24
Figure 16 : Exemple de graphique FastTrac	25
Figure 17 : Logiciel ClinCheck®	26
Figure 18 : Logiciel OrthoCAD pour prendre les mesures du DI	30
Figure 19 : Logiciel OrthoCAD pour prendre les mesures du OGS	31
Figure 20 : Mesure du surplomb horizontal	34
Figure 21 : Mesure du surplomb vertical	34
Figure 22 : Vues occlusales pour évaluer l'alignement et les contacts interproximaux	34
Figure 23 : Graphique du DI pour les deux groupes	41
Figure 24 : Graphique de l'alignement pour les deux groupes	42
Figure 25 : Graphique du surplomb horizontal pour les deux groupes	43
Figure 26 : Graphique du surplomb vertical pour les deux groupes	44
Figure 27 : Graphique de Bland-Altman : les différences entre le surplomb horizontal prédit et réel	45

Figure 28 : Graphique de Bland-Altman: les différences entre le surplomb vertical prédit et réel 46

Figure 29 : Graphique de Bland-Altman :les différences entre l’alignement prédit et réel..... 47

Liste des abréviations

Abréviations en français

RANK	Récepteur Activateur du Facteur Nucléaire Kappa B (Receptor Activator of NF- κ B)
RANKL	Ligand du Récepteur Activateur du Facteur Nucléaire Kappa B (Receptor Activator of NF- κ B Ligand)
OPG	Ostéoprotégérine
PGE1	Prostaglandine 1
PGE2	Prostaglandine 2
1,25-DHCC	1,25-Dihydroxycholécalférol

Abréviations en anglais

FDA	Food and Drug Administration
ABO	American Board of Orthodontics
OGS	Objective Grading System
DI	Discrepancy index
TGF- β	Transforming Growth Factor Beta 1
M-CSF	Macrophage Colony-Stimulating Factor
ICC	Coefficient de corrélation intraclasse

*À mon conjoint, Jessy Blais, qui est toujours là
pour m'épauler dans tous mes projets et m'aider à
réaliser mes rêves. Merci mon amour.*

Remerciements

En premier, je tiens à remercier Dre Andrée Montpetit, professeure de la Faculté de médecine dentaire, section d'orthodontie et directrice de ce projet, pour tout son temps précieux ainsi que de m'avoir guidée à élaborer ce mémoire.

Je souhaite aussi remercier Dr Sam Daher, Dr Kenneth Lam et leur équipe de m'avoir donné accès à leurs patients pour faire cette étude.

Je remercie Dr Hicham El-Khatib d'avoir accepté d'être président-rapporteur pour ce mémoire et ainsi à Dr Kenneth Lam pour sa participation à mon jury.

Sincères remerciements à Dr Claude Remise, Dr Morris Wechsler, Dr Jack Turkewicz, Dr Hicham El-Khatib, Dre Andrée Montpetit, Dre Athéna Papadakis, Dr Serge Baril, Dr Jocelyn Talbot, Dr Réjean Labrie, Dr Ezra Kleinman, Dr Paul Morton, Dr Donald Blais, Dre Clarice Nishio pour avoir contribué à ma formation en tant qu'orthodontiste.

J'exprime ma gratitude à M. Pierre Rompré pour l'excellence de ses analyses statistiques.

À mes trois collègues et amies, Pascale, Natasha et Cynthia, je vous remercie sincèrement pour toute l'aide, l'encouragement et l'amitié au travers des trois dernières années.

1 Introduction

L'esthétique a toujours été un facteur important pour la société. Il est très fréquent aujourd'hui de voir des patients opter pour des traitements orthodontiques de type invisible. Dans le domaine dentaire, comme dans n'importe quel domaine, la technologie est en évolution constante.

Alors qu'il existe aujourd'hui différents genres de traitements esthétiquement acceptables, les patients s'inquiètent maintenant de la durée des traitements. (1) Quand le traitement est commencé, les patients ont hâte de voir le résultat final. Plus vite il se termine, plus le patient est satisfait. (2) Puisque le traitement orthodontique se déroule sur une longue période de temps, les risques de caries, de résorptions radiculaires, de récessions et de maladies parodontales sont plus élevés. (3) Aussi, il y a une baisse de la coopération. (4) Enfin, l'idéal serait d'augmenter le remodelage osseux et raccourcir le temps de traitement. Avec les méthodes actuelles de traitements, on peut s'attendre à 1mm de mouvement par mois. (5)

Plusieurs études ont été faites pour tenter de trouver un moyen d'accélérer les mouvements dentaires. Cette étude va se pencher sur une méthode, soit un appareil vibrationnel nommé AcceleDent®.

Le facteur rapidité n'est cependant pas le seul, la qualité du résultat est également d'une importance capitale. Il va de soi qu'il est inacceptable d'avoir un résultat rapide et médiocre.

Le but de cette étude est de déterminer si l'appareil AcceleDent® peut réduire considérablement le temps de traitement pour les patients traités avec Invisalign® et toujours obtenir la même qualité de résultats que chez les patients suivant le protocole de progression des coquilles d'alignement recommandé. Nous allons comparer l'alignement final de deux groupes de malocclusions originales semblables, un groupe suivant le protocole Invisalign® de base et l'autre groupe utilisant le dispositif AcceleDent®.

2 Recension des écrits scientifiques

2.1 Techniques orthodontiques esthétiques

En 2002, Fritz a rapporté que, pour 79% des patients de son étude, la raison principale d'avoir recours à un traitement orthodontique était l'aspect esthétique.(6)

2.1.1 Boîtiers transparents

Des boîtiers orthodontiques en plastique ont été introduits au début des années 1970. Cette alternative à des boîtiers métalliques a été abolie rapidement. Des problèmes inhérents ont été vite remarqués, y compris la coloration et les odeurs, mais surtout leur manque de résistance et de rigidité qui entraînaient des problèmes d'adhésion, de fractures et de déformation permanente. (7) Par la suite, les boîtiers en céramique ont été introduits dans les années 1980. Ils ont une plus grande résistance à l'usure et à la déformation et ils ont une meilleure stabilité de la couleur. Cependant, ces boîtiers ont une dureté plus élevée que l'émail, alors il peut y avoir une usure sévère de la dentition maxillaire s'ils sont placés à la mandibule. Aussi, il peut y avoir des fractures d'émail lorsque les boîtiers sont retirés à la fin du traitement. (7) Aujourd'hui, presque toutes les compagnies fabriquent des boîtiers en céramique qui diffèrent selon leurs compositions, leurs formes et leurs grosseurs. Certaines ajoutent du métal dans la lumière pour diminuer la friction ou une porte de métal.



Figure 1 : Boîtiers transparents
(Image adaptée du site <http://www.wellclinic.com/>) (8)

2.1.2 Boîtiers au lingual

L'introduction de cette technique date de la fin des années 1970 avec Kurz aux États-Unis et Fujita au Japon. (9) Les boîtiers sont placés à la surface palatine des dents au maxillaire et du côté de la langue des dents à la mandibule. Mise à part l'esthétique, les avantages de cette méthode incluent une réduction de traumatisme aux lèvres et une réduction de décalcification. (9) Les désavantages sont : une plus grande irritation de la langue, ainsi qu'une difficulté de parole, de mastication, de déglutition et d'ouverture de la bouche. (10)

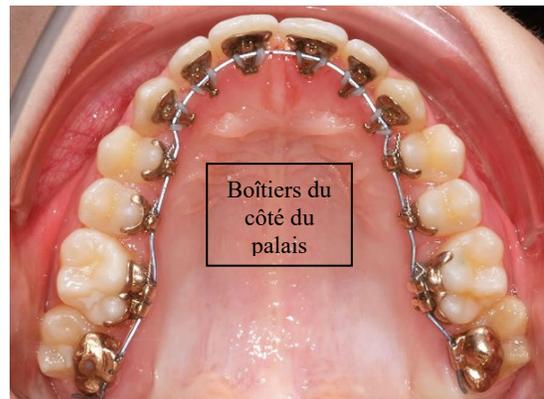


Figure 2 : Technique linguale
(Image adaptée du site <http://www.healthable.org/>) (11)

2.1.3 Gouttières claires thermoformées

2.1.3.1 Historique

En 1997, la compagnie Align Technology a été fondée. La technique Invisalign®, conçue par cette dernière, a apparue sur le marché en 1999. Le siège social est situé en Californie et le centre de techniciens au Costa-Rica.(12) Cette technique consiste en une série de gouttières claires thermoformées avec des mouvements dentaires programmés pour induire graduellement des déplacements dentaires. Le concept de déplacement des dents à partir d'une série d'étapes individuellement prévues grâce à l'utilisation de modèles a été décrit par Kesling en 1945.(13)

Chaque étape de traitement, c'est-à-dire un mouvement de 0,25 à 0,3mm d'une dent ou une série de dents, est transformée en modèle physique par stéréolithographie. (14) Ces modèles, faits en résine, passent dans un système où une feuille transparente de polyuréthane est thermoformée sur ces derniers. (15) Le processus de fabrication a lieu à Juárez, au Mexique. (12)



Figure 3 : Processus de fabrication des gouttières Invisalign®
(Images adaptées de Kuo et Miller) (15)

Comme toute compagnie, il y a des améliorations qui ont été portées au produit, ainsi que de nouveaux produits qui ont été créés. En 2009, l'apparition d'attaches spécifiques (*optimized attachments*) a permis d'améliorer les mouvements verticaux des dents antérieures supérieures et la correction des rotations des canines. C'est seulement en 2010 que les attaches spécifiques ont été disponibles pour les dents antérieures inférieures ainsi que les découpures de précision (*precision cuts*) pour permettre d'accrocher les élastiques. (16) Depuis l'arrivée du nouveau plastique nommé SmartTrack®, en 2013, les forces générées par les coquilles sont beaucoup plus constantes, contrairement au plastique de la première génération qui perdait de sa force d'action dans les premiers jours de port. Ainsi, les coquilles sont flexibles et conçues pour s'adapter plus précisément à la morphologie des dents et aux attaches pour permettre un meilleur contrôle du mouvement des dents. (17)

2.1.3.2 Technique Invisalign®

Une fois que le diagnostic a été fait par l'orthodontiste, une empreinte en polyvinylsiloxane ou une empreinte numérique avec un scanner intraoral est prise des deux arcades. Ensuite, ces empreintes, les radiographies, les photos extraorales et intraorales et le plan de traitement sont envoyés au fabricant. Un technicien crée une simulation numérique du résultat final. Par l'entremise du logiciel ClinCheck®, ce plan de traitement est révisé, modifié et accepté par l'orthodontiste. Par la suite, la compagnie fabrique toutes les coquilles nécessaires, les emballe individuellement et les envoie à l'orthodontiste. (15) Ainsi, lui peut ajouter les attaches sur les dents et remettre les coquilles aux patients. Ces gouttières sont portées pour un

minimum de 21 heures par jour et sont changées aux deux semaines. (18) Selon l'étude de Pavoni, un traitement d'orthodontie fixe a une durée de 18 mois \pm 3 mois et 18 mois \pm 2 mois pour un traitement d'orthodontie avec la technique Invisalign®. (19) L'étude de Miller a conclu que les patients qui ont été traités par la technique d'Invisalign® rapportaient moins de douleur et une meilleure qualité de vie durant la première semaine de traitement comparé au groupe traité par des boîtiers fixes conventionnels. (20)



Figure 4 : Gouttières Invisalign®
 (Image adaptée du site <http://groundfloorlevel.com>) (21)

2.2 L'anatomie du parodonte

L'ensemble des tissus qui entourent et soutiennent les dents se nomme le parodonte. Ce dernier inclut la gencive, le ligament parodontal, le cément et l'os alvéolaire. (22)

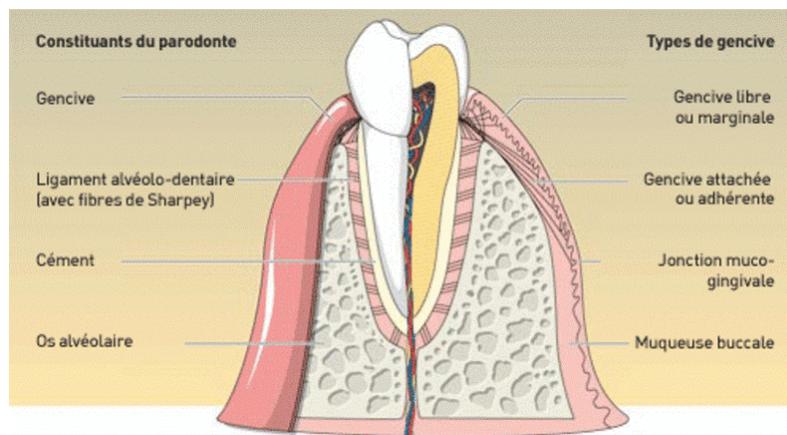


Figure 5 : Anatomie du parodonte
 (Image adaptée du site <http://www.medeco.de/fr/>) (23)

2.2.1 La gencive

La gencive recouvre l'os alvéolaire ainsi que la partie cervicale de la dent. Elle est composée de tissu conjonctif et d'épithélium. On peut distinguer trois différentes parties :

2.2.1.1 La gencive libre ou marginale

C'est la gencive comprise entre le bord libre et s'étend jusqu'au sulcus, incluant aussi les papilles interdentaires. La gencive marginale est une mince bandelette ondulée d'une largeur d'environ 1,5 à 2,5mm qui suit parallèlement le collet des dents. Le sulcus ou sillon gingival adhère à la dent par l'attache épithéliale ou l'épithélium de jonction. (22)

2.2.1.2 La gencive attachée

Elle est de hauteur très variable et elle est liée au périoste par des fibres de collagènes. La gencive attachée est de couleur rose pâle, elle est ferme et résiliente. (22)

2.2.1.3 La muqueuse alvéolaire

Suite à la gencive attachée, on retrouve la jonction muco-gingivale qui délimite la muqueuse alvéolaire. Cette muqueuse est beaucoup plus mince et de couleur rouge. (22)

2.2.1.4 Les fibres de collagènes

Les fibres de collagènes également connues sous le nom de fibres supracrestales sont désignées par leur orientation. On peut ainsi retrouver : (22)

- 1) les fibres dento-gingivales (DG): du cément à la gencive
- 2) les fibres circulaires (C) : encerclent la partie cervicale de la dent
- 3) les fibres alvéolo-gingivales (AG): de la crête alvéolaire à la gencive

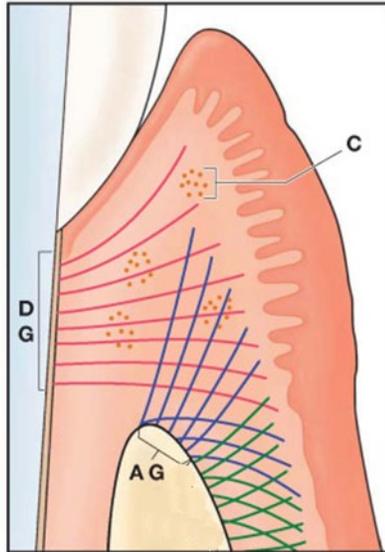


Figure 6 : Fibres de collagènes de la gencive
(Image adaptée de Glickman et Carranza) (22)

2.2.2 Le ligament parodontal

Le ligament parodontal est un tissu conjonctif qui relie la dent aux structures avoisinantes. Il est constitué d'un réseau dense de vaisseaux sanguins et de fibres nerveuses. Comme dans la gencive, les fibres de collagènes dans le ligament sont aussi nommées selon leur direction : (22)

- a) Les fibres horizontales (H)
- b) Les fibres obliques (O)
- c) Les fibres dento-alvéolaires (DA): relie le cément et la crête alvéolaire
- d) Les fibres apicales (A) : au niveau de l'apex
- e) Les fibres inter-radiculaires (IR) : entre les racines
- f) Les fibres transeptales (T) : relie une dent à l'autre

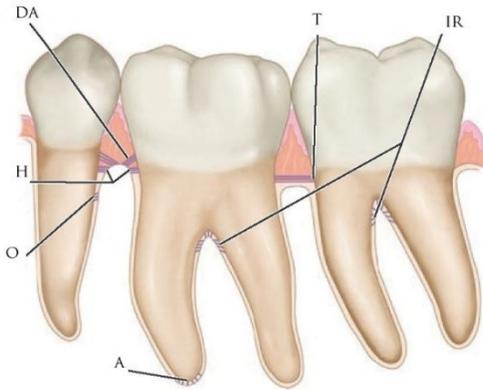


Figure 7 : Fibres du ligament parodontal
(Image adaptée de Glickman et Carranza) (22)

2.2.3 Le ciment

Le ciment est une couche de tissu conjonctif minéralisé qui recouvre la dentine radiculaire. Il est avasculaire et recouvre la partie externe de la racine. Les fibres de collagènes du ligament parodontal qui s'insèrent dans le ciment se nomment les fibres de Sharpey. (22)

2.2.4 L'os alvéolaire

L'os alvéolaire est le principal soutien de l'organe dentaire. Il entoure la racine de la dent qui s'y attache à l'aide du ligament parodontal. Sa crête se situe à environ 2 mm sous la jonction énamo-cémentaire. L'os alvéolaire est constitué de l'externe à l'interne par : le périoste, l'os cortical externe (os compact), l'os spongieux et l'os cortical interne (os compact). (22)

2.3 Le principe du mouvement dentaire

L'idée que le mouvement orthodontique est en fonction de la résorption et de la déposition d'os au niveau de l'alvéole date des années 1839. C'est seulement depuis les travaux histologiques de Sandstedt en 1904 que ses conclusions constituent le fondement de nos connaissances actuelles. Par la suite, il y a eu plusieurs autres personnes qui ont contribué à développer ce concept. (24)

Comme mentionné précédemment, le ligament parodontal est riche en cellules et en vaisseaux sanguins. Il contient des cellules souches indifférenciées qui ont le potentiel de se développer en ostéoblastes, en cémentoblastes ou en fibroblastes. Grâce aux signaux et aux réponses, le corps humain est un système d'autorégulation pour maintenir l'équilibre homéostatique. Ainsi, pour le remodelage osseux, les ostéoblastes, les ostéoclastes et les fibroblastes communiquent par la voie de signalisation du ligand du récepteur activateur du facteur nucléaire kappa B (RANKL)-récepteur activateur du facteur nucléaire kappa B (RANK)-ostéoprotégérine (OPG) .(25) La cellule la plus abondante du ligament est le fibroblaste, qui est responsable de la structure de ce dernier en produisant le collagène et il sécrète aussi RANKL et le « Transforming Growth Factor Beta » (TGF- β) sous un stimulus mécanique. Le ligament contient aussi des ostéoblastes et des ostéoclastes. Les cellules souches se différencient en ostéoblastes sous l'influence du facteur de croissance TGF- β . Les ostéoblastes, qui sont responsables de la formation d'os, sécrètent le RANKL, l'OPG, le « Macrophage Colony-Stimulating Factor » (M-CSF) et plusieurs autres molécules. Les ostéoclastes, qui sont responsables de la résorption osseuse, se différencient en pré-ostéoclastes à partir de cellules souches hématopoïétiques présentes dans le système vasculaire. Ces pré-ostéoclastes migrent aux sites osseux et se fusionnent en ostéoclastes en présence de RANKL et M-CSF. (25) Quand une force orthodontique est appliquée, une réponse inflammatoire aiguë s'active qui induit une vasodilatation et laisse pénétrer des leucocytes. Ces cellules produisent des cytokines, les molécules biochimiques qui initient la voie de signalisation décrite précédemment.(26) Donc, dans les zones de compression, le taux de RANKL est élevé et du côté de la tension, on note beaucoup plus de TGF- β et OPG. (25)

Lorsque les forces orthodontiques sont trop élevées sur le ligament, il y a une obstruction des vaisseaux sanguins et les cellules sont endommagées, donc une nécrose locale du ligament se produit. Il y a apparition d'une zone de hyalinisation, c'est-à-dire une zone acellulaire et avasculaire. Par la suite, les macrophages, les cellules géantes multinucléées et les ostéoclastes d'une zone avoisinante migrent dans la région de tissu nécrosé. Ces cellules vont résorber la zone nécrotique, ainsi que l'os sous-jacent à cette zone. Ce phénomène se nomme de la résorption sous-minée et peut entraîner de la résorption radiculaire. (26)

Temps	Événement
<1 seconde	Le fluide gingival est incompressible, l'os alvéolaire plie, un signal piézoélectrique est généré.
1-2 secondes	La dent bouge dans l'espace ligamentaire.
3-5 secondes	Les vaisseaux sanguins du côté de pression sont partiellement comprimés et dilatés du côté de tension, les fibres et les cellules du ligament parodontal sont déformées.
Minutes	La circulation sanguine est altérée, la pression d'O ₂ change, des prostaglandines et des cytokines sont libérées.
Heures	Il y a un changement métabolique, les messagers chimiques affectent l'activité cellulaire, le niveau d'enzyme change.
~4 heures	AMP cyclique apparait, la différenciation cellulaire débute.
~2 jours	Le mouvement dentaire débute grâce aux ostéoclastes et aux ostéoblastes.

Tableau I : Réponse physiologique à une pression légère

Adapté de Proffit (27)

Temps	Événement
<1 seconde	Le fluide gingival est incompressible, l'os alvéolaire plie, un signal piézoélectrique est généré.
1-2 secondes	La dent bouge dans l'espace ligamentaire.
3-5 secondes	Le fluide gingival est expulsé, les vaisseaux sanguins et tissus sont comprimés, une douleur est ressentie.
Minutes	La circulation sanguine est complètement coupée dans le ligament.
Heures	Il y a une nécrose cellulaire du côté de pression.
3-5 jours	La différenciation cellulaire dans les zones adjacentes, la résorption sous-minée débute.
7-14 jours	Résorption sous-minée de la lamina dura du côté de pression, mouvement dentaire.

Tableau II : Réponse physiologique à une pression forte

Adapté de Proffit (27)

2.4 Facteurs importants pour le traitement orthodontique

2.4.1 Durée du traitement

La durée moyenne d'un traitement d'orthodontie fixe varie entre 18-20 mois pour un cas sans extractions et entre 23-24 mois pour un cas avec extractions. (28-30) Selon l'étude d'Uribe

et al. publiée en 2014, les parents et les patients adultes étaient prêts à payer des honoraires jusqu'à 20% plus élevés pour bénéficier d'un traitement orthodontique plus court. (2)

2.4.2 Qualité du résultat avec Invisalign®

Krieger *et al.* ont publié une étude pilote rétrospective, en 2011, sur l'exactitude du traitement Invisalign® en région antérieure. Ils ont comparé 35 ClinChecks® avec les modèles finaux en mesurant les surplombs horizontal et vertical, ainsi que les lignes médianes dentaires. Les modèles post-traitement ont été mesurés à +/- 0,01 mm de précision en utilisant un pied à coulisse numérique. Les mesures sur le ClinCheck® ont été prises visuellement à partir de la grille dans le logiciel, et ce à +/- 0,5 mm de précision. Leurs résultats étaient significatifs pour le surplomb vertical avec une différence de +/- 0,9mm entre la simulation du résultat et la réalité. Cependant, pour le surplomb horizontal et les lignes médianes, une différence de +/- 0,4mm entre le résultat prédit et le résultat final a été notée ce qui a été considéré comme n'étant pas significatif. (31) En 2012, Krieger *et al.* ont refait cette étude avec un plus grand échantillon, c'est-à-dire avec 50 patients. Ils ont mesuré plus de paramètres tels que la distance intercanine, l'index d'irrégularité de Little, les surplombs horizontal et vertical et les lignes médianes dentaires. La longueur de l'arcade en région antérieure a été mesurée au maxillaire à partir d'une ligne sur la surface labiale des incisives à une autre ligne reliant les fosses centrales des premières prémolaires. À la mandibule, elle a été mesurée à partir d'une ligne sur la surface labiale des incisives à une autre ligne reliant les points de contact des prémolaires. Les ClinChecks® et les modèles finaux ont été mesurés et superposés de la même façon que l'étude pilote. Leurs résultats concordaient avec ceux de l'étude pilote : une différence de 0,71mm pour le surplomb vertical entre la simulation et les modèles finaux. La différence entre les autres paramètres n'était pas significative. Alors, selon ces études, il est plus difficile d'obtenir des mouvements dans le plan vertical, donc il est préférable de surcorriger ou d'ajouter des attaches additionnelles sur les prémolaires pour augmenter l'ancrage afin d'obtenir un résultat final acceptable.(32)

Une étude prospective, en 2009, a été menée par Kravitz *et al.* sur la précision des mouvements en région antérieure avec Invisalign®. Trente-sept patients ont participé à cette recherche clinique et les types de mouvements étudiés étaient l'expansion, la constriction, l'intrusion, l'extrusion, le torque, l'inclinaison mésio-distale et les rotations. Les critères

d'inclusion étaient moins de 5mm de chevauchement ou d'excès d'espace en région antérieure avec une relation occlusale adéquate. Les auteurs ont superposé le résultat simulé et le résultat obtenu avec le logiciel ToothMeasure. Ce logiciel, développé par Align Technology pour usage interne seulement, peut fournir des mesures sur des modèles numériques. Il superpose sur les dents qui n'ont pas bougées, les rugosités palatines ou les implants dentaires. Ceci a une précision de +/- 0.2mm et +/- 1,0°. Kravitz *et al.* ont conclu que la moyenne de précision des mouvements dentaires avec Invisalign® est de 41%. Le mouvement le plus efficace était la constriction linguale (47,1%) et celui le moins précis était l'extrusion (29,6%). La canine inférieure était la dent la plus difficile à contrôler.(33)

Selon Align Technology, chaque coquille peut corriger une rotation de 2 degrés, donner jusqu'à 1 degré de torque incisif et jusqu'à 0,25mm de distalisation. (34)

2.5 Moyens pour accélérer le traitement orthodontique

2.5.1 Des méthodes pharmacologiques

2.5.1.1 Prostaglandines

Les prostaglandines sont synthétisées et secrétées par les cellules en réponse aux stress mécaniques. Ces métabolites stimulent le processus ostéoclastique, accélérant ainsi le mouvement orthodontique. Cependant, l'injection locale de prostaglandine 1 (PGE1) et de prostaglandine 2 (PGE2) cause de la douleur au site d'injection. En conséquence, une alternative pourrait être l'administration orale de prostaglandines. Sekhavat *et al.* ont observé l'effet du misoprostol, un médicament oral analogue d'une PGE1 administré chez des rats. Il y avait une différence significative entre le taux de mouvement orthodontique du groupe expérimental et du groupe contrôle.(35) Leiker *et al.* ont obtenu des résultats similaires sauf qu'ils ont aussi noté une résorption radiculaire accrue chez le groupe expérimental. (36) De leurs parts, Kale *et al.* ont injecté une seule dose de PGE2 à la mise en place de l'appareil orthodontique. Ils ont conclu que le taux de mouvement dentaire était accéléré sans effets secondaires néfastes détectables. (37)

2.5.1.2 1,25-dihydroxycholécalférol (1,25,DHCC)

Cette forme active de la vitamine D joue un rôle important dans l'homéostasie du calcium. Une diminution du taux de calcium sérique stimule la sécrétion de l'hormone parathyroïdienne, qui à son tour augmente la sécrétion de phosphate, la réabsorption du calcium et produit l'hydroxylation de 25, hydroxycholécalférol à 1,25, DHCC. Cette dernière a été démontrée comme étant un puissant stimulateur de la résorption osseuse en induisant la différenciation des ostéoclastes à partir de leurs précurseurs. (26) Kale *et al.* ont injecté chez huit rats du 1,25,DHCC aux jours 0, 3, et 6. Les résultats démontrent une augmentation du taux de mouvement dentaire sur une période de 9 jours sans effet nocif détectable. (37) Collins *et al.* ont testé le métabolite de la vitamine D (1,25-DHCC) sur des chats en l'injectant dans le ligament parodontal. Après 21 jours de rétraction de la canine, les dents qui avaient reçu des injections hebdomadaires s'étaient déplacées 60% plus loin que celles du groupe contrôle. Au niveau histologique, le nombre d'ostéoclastes mononucléaires était accru, ce qui entraînait une plus grande quantité de résorption osseuse sur le côté de pression. Par contre, pas d'effets cliniques, microscopiques ou biochimiques ont été notés.(38)

2.5.1.3 Ostéocalcine

L'ostéocalcine est une protéine majeure de la matrice osseuse non collagénique. Dans l'étude de Kobayashi *et al.*, de l'ostéocalcine a été injectée au niveau de la furcation de la première molaire chez 24 rats, et ce, pendant quatre jours. La molaire s'est déplacée mésialement plus vite que celle du groupe contrôle. Ils ont aussi noté un niveau accru d'ostéoclastes sur le côté de compression. (39) Hashimoto *et al.* ont fait une expérience similaire, mais ils ont administré l'ostéocalcine pendant neuf jours. Leur conclusion était la même que l'étude décrite précédemment. (40)

2.5.1.4 Hormone parathyroïdienne

Cette hormone joue un rôle primordial dans la régulation sanguine du calcium et du phosphore et peut ainsi augmenter le remodelage osseux. Une concentration élevée sur une longue période cause une perte de la densité osseuse, mais une forte dose intermittente cause une augmentation de la masse osseuse. Li *et al.* ont administré une dose journalière de l'hormone

parathyroïdienne humaine recombinante chez 30 rats pour douze jours. Ils ont conclu que le groupe expérimental démontrait un mouvement dentaire accéléré. (41). Selon l'étude à Soma *et al.*, l'injection locale de l'hormone parathyroïdienne accélère le mouvement et l'injection systémique requiert trente-deux fois la dose de l'injection locale pour pouvoir accélérer le mouvement. (42)

2.5.1.5 Glucocorticoïdes

Les glucocorticoïdes sont des hormones stéroïdiennes produites par le cortex surrénal. Elles ont des propriétés anti-inflammatoires, donc elles inhibent la synthèse de prostaglandines et de leucotriènes. Ashcraft *et al.* ont fait une étude sur des lapins divisés en deux groupes expérimentaux et deux groupes contrôles. Ils ont administré de la cortisone acétate avant et pendant un mouvement orthodontique. Une ostéoporose était alors induite. Ainsi, le taux de mouvement était accéléré chez le groupe recevant le médicament. (43) Dans une autre étude, il n'y avait pas de différence statistiquement significative suite à l'administration de prednisolone chez les rats comparés aux contrôles. Cependant, ils ont noté une réduction de la résorption radiculaire du côté de la compression. (44)

2.5.2 Des méthodes chirurgicales

2.5.2.1 Fibrotomie supracrestale

Cette méthode consiste à faire une section des fibres gingivo-dentaires pour accélérer la vitesse de mouvement de la dent. Tuncay *et al.* ont procédé à une fibrotomie de molaires choisies aléatoirement chez des rats qui allaient subir un mouvement dentaire avec un appareil orthodontique. Leurs résultats démontraient que ces dents se déplaçaient plus vite que celles qui n'ont pas eu de fibrotomie. (45)

2.5.2.2 Distractions dentoalvéolaires

Le processus de distraction osseuse, qui consiste en un allongement progressif d'un os, a été introduit par Codivilla en 1905 et a été popularisé dans les années 1970 par les travaux importants d'Ilizarov en orthopédie. (46) La distraction dentoalvéolaire consiste à faire une ostéotomie autour de la dent à déplacer pour avoir un bloc osseux individuel incluant la dent et

son os alvéolaire. Ensuite, ce bloc est stabilisé et déplacé à l'aide de vérins. Kisnisci *et al.* ont fait une étude avec onze patients nécessitant l'extraction des premières prémolaires et une distalisation des canines. Une ostéotomie verticale mésiale, distale et une ostéotomie 2 à 3mm apicale à l'apex de la canine ont été faites, ainsi que l'extraction de la prémolaire et l'ablation de son os buccal. La distraction dentoalvéolaire débutait le jour-même avec un appareil fait sur mesure pour distaler la canine. Ce dernier était activé une fois par jour et produisait un mouvement de 0,8mm. Après 8-12 jours, il y avait un contact entre la canine et la deuxième prémolaire. Il n'y avait pas de perte d'ancrage, de résorption radiculaire, d'ankylose, de perte de vitalité de la pulpe ni de problème sinusal. (47) Du côté de Kharkar *et al.*, leur protocole variait légèrement. Ils ont fait une ostéotomie chez six patients, dont douze canines nécessitaient une distalisation suite à l'extraction de la première prémolaire. La distraction débutait 2 jours postopératoire et l'appareil était activé quatre fois par jour pour un total de 0,5mm/jour. Ils ont obtenu une moyenne de 6,5mm de rétraction de la canine qui a pris $12,5 \pm 0,5$ jours. (48)

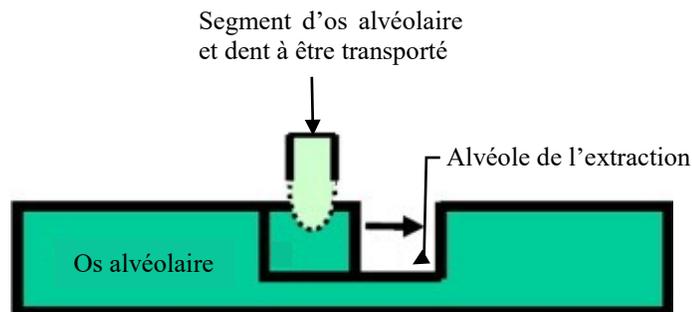


Figure 8 : Schéma d'une distraction dentoalvéolaire
(Image adaptée de Kisnisci et Iseri) (47)

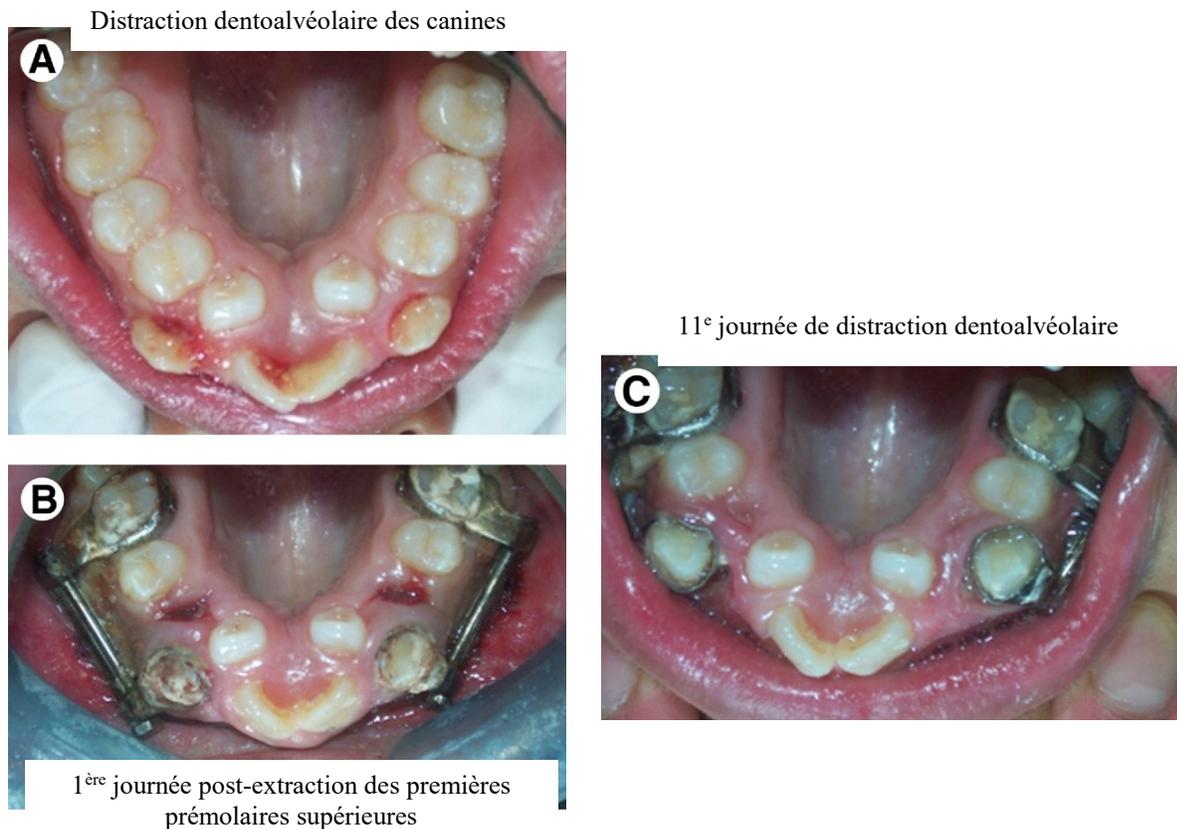


Figure 9 : Exemple clinique d'une distraction dentoalvéolaire
(Images adaptées de Kisnisci et Iseri) (47)

2.5.2.3 Corticotomies

Cette technique consiste en une procédure chirurgicale de l'os cortical autour des dents à déplacer. Köle en 1959, était le premier à introduire ce concept pour accélérer le mouvement dentaire.(49) Ceci peut être fait sur toute l'arcade ou certains segments seulement. C'est un traitement réservé pour les adultes. Pour ce faire, les corticotomies nécessitent l'élévation un lambeau pleine épaisseur, c'est-à-dire muco-périosté, du côté buccal et lingual. La littérature est constituée principalement de rapports de cas au sujet de cette technique, en voici deux exemples.

Un patient, âgé de 14 ans, s'est présenté avec une malocclusion de classe I et du chevauchement antérieur. Le traitement orthodontique a duré 3 mois et 2 semaines. Les corticotomies buccales et linguales ont été faites sur les six dents antérieures supérieures et inférieures. D'une autre part, une patiente, âgée de 39 ans, s'est présentée avec une relation molaire de classe I et du chevauchement antérieur modéré. Elle a eu les corticotomies au buccal

et au lingual des six dents antérieures inférieures et seulement au buccal des six dents antérieures supérieures. Son traitement a duré 4 mois et 2 semaines. (50) Fischer en 2007 a fait une étude préliminaire avec six patients qui avaient des canines incluses palatines bilatérales. Les deux canines ont subi une exposition chirurgicale, mais de façon randomisée, le chirurgien procédait aussi à une corticotomie sur une des deux canines. L'orthodontiste a posé une traction sur les canines pour les aligner au niveau de l'arcade, mais il n'était pas au courant quelle canine avait eu une corticotomie. Les résultats démontraient que le temps de traitement était réduit de 28% à 33% pour toutes les canines ayant subi la corticotomie.(51)

2.5.2.4 Orthodontie accélérée par assistance ostéogénique parodontale

Ce concept a été développé par Wilcko en 2000 et consiste en une combinaison d'une activation osseuse, une augmentation alvéolaire et un traitement orthodontique. L'activation osseuse comprend une décortication alvéolaire sélective, des ostéotomies, et l'amincissement de l'os. Le principe consiste à créer une mince couche d'os, donc $\leq 1,5\text{mm}$, au niveau de la proéminence radiculaire ensuite de faire les traits de coupe dans la corticale, et enfin de faire une greffe osseuse. Il se produit une déminéralisation osseuse, la dent sera déplacée facilement et rapidement pour ensuite avoir une reminéralisation grâce à la greffe. La greffe peut aussi corriger des fenestrations osseuses et augmenter le volume de l'os alvéolaire. (52) Cette technique est très invasive, ce qui limite son utilisation auprès de la population. Wilcko a présenté plusieurs cas orthodontiques accomplis avec l'aide de cette chirurgie. Par exemple, un patient, âgé de 23 ans, s'est présenté avec une relation dentaire de classe I, mais avec du chevauchement supérieur et inférieur sévère, une constriction palatine sévère et une occlusion croisée antérieure et postérieure. Son traitement orthodontique s'est échelonné sur une période de 6 mois et 2 semaines. L'activation osseuse, la corticotomie et la greffe osseuse se sont faits dans les semaines suivant la mise en bouche des boîtiers. (50). Un autre cas clinique est une patiente âgée de 47 ans, qui s'est présentée avec du chevauchement modéré antérieur, une classe I molaire à droite et une classe II molaire à gauche. La deuxième prémolaire à gauche est absente. Le plan de traitement consistait en une fermeture de l'espace édenté avec l'aide de corticotomies buccales et linguales de la dent 1.3 à la dent 2.4 et de la dent 3.3 à la dent 4.3. Aussi, il y a eu

une ostéotomie du site édenté et une greffe d'os aux régions des corticotomies. Le temps de traitement a été de 7 mois.(52)

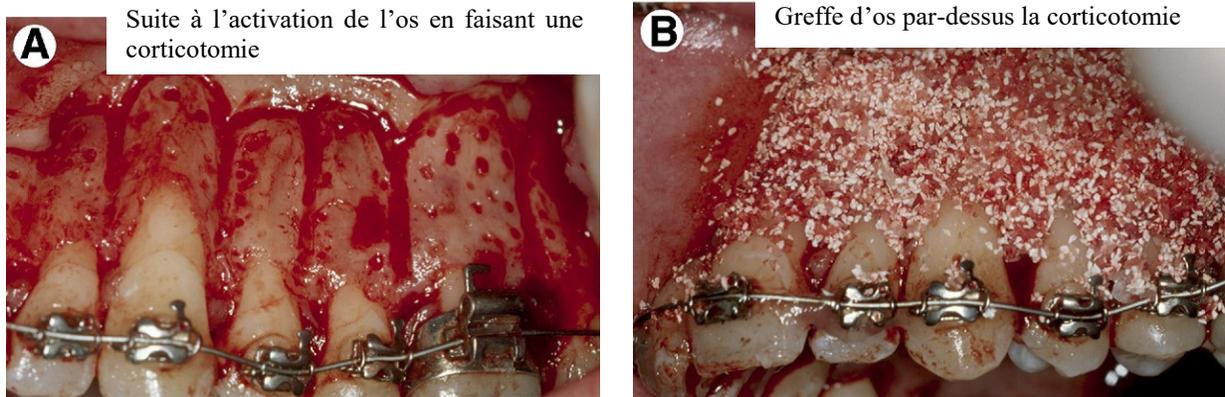


Figure 10 : Corticotomies et greffe osseuse
(Images adaptées de Wilcko) (52)

2.5.2.5 Piézocision

Cette technique a été décrite par Dibart en 2009. Elle comprend des micro-incisions limitées à la gencive buccale et des traits de coupes dans l'os cortical. L'avantage de cette procédure est d'accélérer le mouvement des dents sans l'inconvénient d'une approche chirurgicale extensive et traumatique tout en conservant la possibilité d'une greffe osseuse ou de tissus mous par une approche par tunnel. (53) L'intervention chirurgicale est pratiquée sous anesthésie locale une semaine après la pose des boîtiers orthodontiques. Au niveau de la gencive attachée, sous la papille interdentaire, des incisions verticales qui doivent traverser le périoste sont effectuées. Par la suite, un couteau piézo-électrique est utilisé pour faire les traits de corticotomies d'une profondeur de 3mm. Aucun point de suture n'est nécessaire sauf si une greffe d'os ou de gencive doit être réalisée. (1) En 2013, Keser et Dibart ont publié un rapport de cas où ils ont utilisé la technique de piézocision, mais de manière séquentielle. Une patiente de 25 ans s'était présentée avec une malocclusion de classe III, une constriction maxillaire, une occlusion croisée et avait refusé des extractions ainsi que la chirurgie orthognatique. Donc, le plan de traitement consistait en l'utilisation de la technique de piézocision sans extraction. Six incisions verticales ont été faites au maxillaire neuf jours après la pose des appareils

orthodontiques. Après 3 mois, les piézocisions ont eu lieu à la mandibule. Le traitement orthodontique a été complété en huit mois. (54)

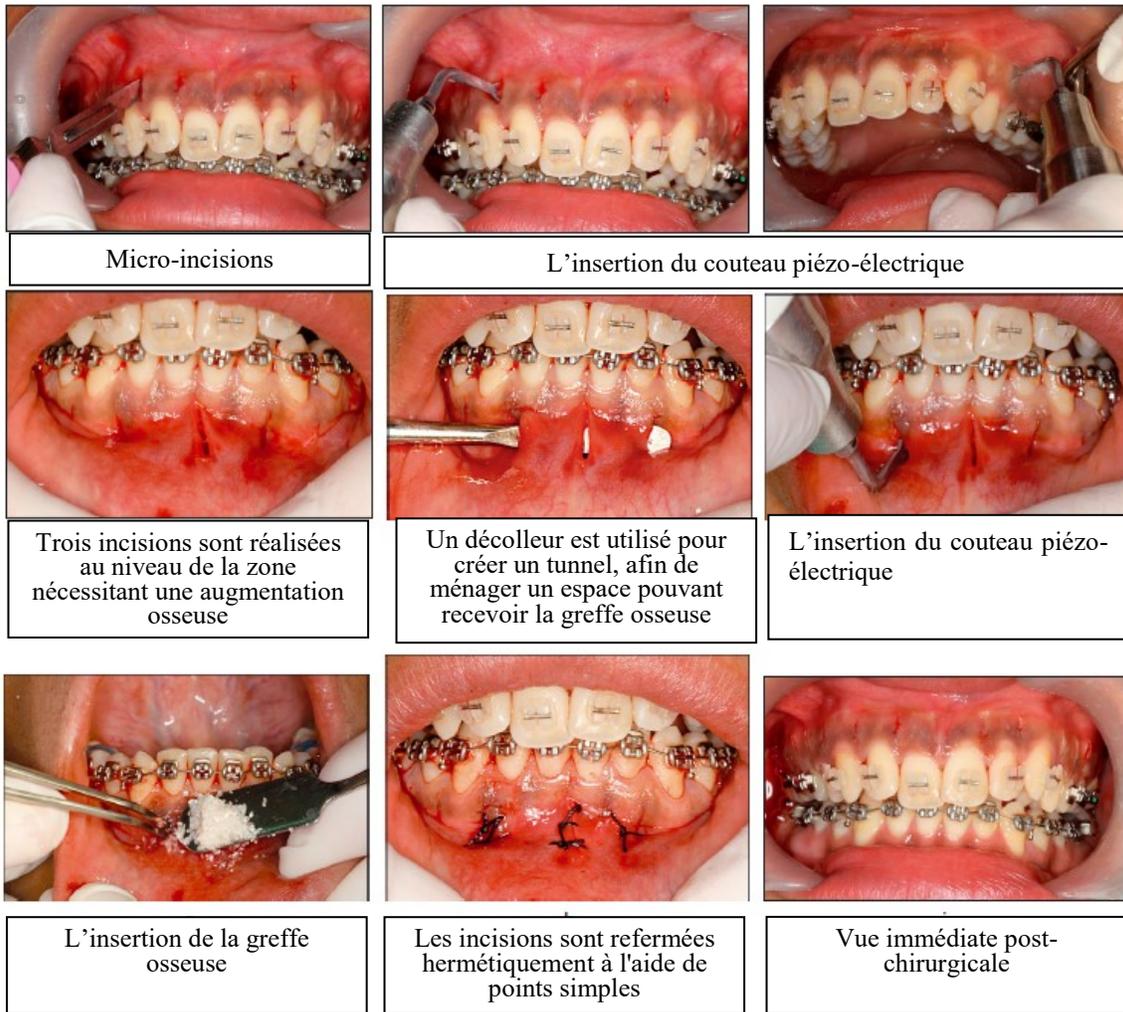


Figure 11 : Technique de piézocision
(Images adaptées de Sebaoun) (1)

2.5.2.6 Micro-ostéoperforations

Le but de cette technique est de créer des régions inflammatoires à l'aide d'un appareil causant des micros perforations dans l'os. Les marqueurs de l'inflammation, tels que la chémokine et la cytokine, jouent un rôle important dans le recrutement et la différenciation des ostéoclastes. Donc il est logique d'assumer qu'une augmentation de ces marqueurs peut accélérer les mouvements dentaires. Dans l'étude randomisée d'Alikhani *et al.*, il y avait 20 adultes avec une malocclusion de classe II division 1. Leur protocole était comme suit : Mise en bouche des boîtiers orthodontiques, extraction des premières prémolaires supérieures, l'alignement et le nivellement primaire. Par la suite, dix d'entre eux ont subi 3 micro-ostéoperforations au distal de la canine, juste avant le début de la rétraction. Cette chirurgie est peu invasive, car elle ne nécessite pas de lambeau ni de médicaments. Elle se fait sous anesthésie locale avec une pièce à main spécifique. Chaque perforation avait un diamètre de 1,5mm et une profondeur de 2 à 3mm. Après 28 jours, la rétraction de la canine du groupe expérimental était cliniquement évidente, tandis que la rétraction de la canine dans le groupe contrôle était minime. Ils ont conclu que les micro-ostéoperforations augmentaient le taux de rétraction de 2,3 fois comparé au groupe contrôle. (55)

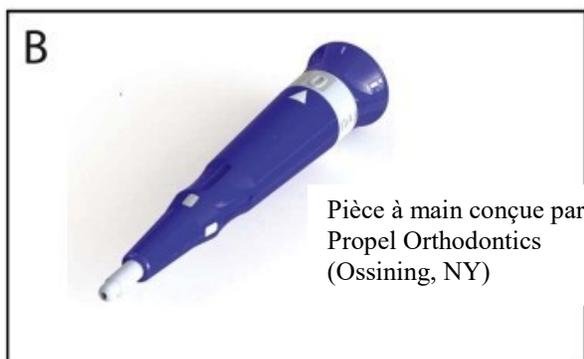
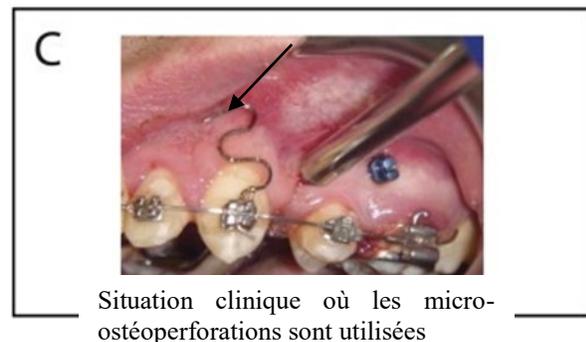
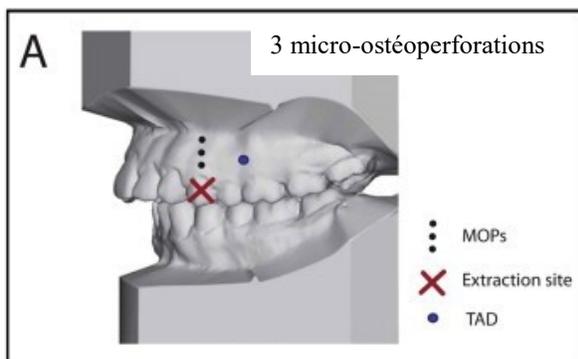


Figure 12 : Micro-ostéoperforations
(Images adaptées d'Alikhani) (55)

2.5.3 Des méthodes physiques

2.5.3.1 Une radiation avec laser à basse énergie

Genc *et al.* ont utilisé un laser diode avec une puissance de 20mW, une dose de 0,71J/cm² et un temps d'exposition de 10 secondes par régions : soit buccale, linguale et cervicale. Le laser était projeté perpendiculairement à la gencive et la muqueuse des deux latérales supérieures chez 20 patients. Ce procédé a été répété à plusieurs reprises. Leurs résultats démontraient une accélération de 20-40% de la distalisation de la latérale. (56) Youssef *et al.* ont fait une étude similaire, mais ils ont intégré un questionnaire sur la douleur impliquant une échelle visuelle analogue. Le laser réduit significativement la douleur durant le mouvement dentaire. Aussi, la canine distalisait 1,98 fois plus vite dans le groupe avec laser comparé au groupe contrôle. (57)

2.5.3.2 La résonance vibratoire

En 2008, Nishimura *et al.* ont évalué les effets de la stimulation mécanique par la résonance vibratoire sur les mouvements dentaires chez les rats. Ils ont conclu qu'il y avait une différence significative entre le groupe expérimental et le groupe contrôle. Après 21 jours, le mouvement dentaire était 15% plus grand chez les rats qui ont subi de la résonance vibratoire. Aussi, il y avait un nombre plus élevé d'ostéoclastes du côté de la compression. Ces résultats suggèrent que la résonance vibratoire impose un stress mécanique qui augmente le flot sanguin. (3) Ceci induirait la cascade d'évènements décrite précédemment et stimulerait la différenciation des cellules. Aussi, la dilatation des vaisseaux sanguins diminue les risques de nécrose locale du ligament ainsi qu'une zone de hyalinisation et, par conséquent, réduit la résorption sous-minée.

En 2010, Kau *et al.* ont fait l'expérience sur 14 patients ayant de l'orthodontie fixe. Ils ont utilisé AcceleDent® type 1 pour 20 minutes par jour pour un total de six mois consécutifs. En tenant pour acquis que, normalement, 1mm de mouvement par mois est attendu, les résultats étaient statistiquement significatifs. Le taux de mouvement au maxillaire était de 3,0mm sur 28 jours et 2,1mm sur 28 jours à la mandibule. Il n'y avait pas de groupe contrôle.(5)

Dans une autre étude publiée en 2011, l'Université du Texas a testé l'AcceleDent® sur le taux de mouvement dentaire pour fermer un espace d'extraction chez 45 patients traités par l'orthodontie fixe. La différence était significative entre le groupe AcceleDent® et le groupe contrôle. Ils ont noté alors une accélération de 38% des mouvements dentaires comparativement au groupe contrôle.(58) Par contre, Miles *et al.* avec 66 patients, n'ont pas obtenu de différence

significative entre le groupe utilisant l'appareil vibrationnel (Tooth Masseur) et le groupe contrôle.(59)

Pavlin et son équipe publia une étude à double insu et randomisée en 2015 sur l'accélération du mouvement dentaire chez 45 patients en traitement orthodontique fixe. Tous les patients ont eu l'extraction des premières prémolaires supérieures ainsi qu'un dispositif d'ancrage temporaire pour la rétraction des canines. Il n'y avait pas de différence statistiquement significative au début du traitement entre le groupe expérimental et le groupe contrôle. Les deux groupes avaient un dispositif AcceleDent®, cependant, celui du groupe contrôle n'émettait pas de vibration. Les résultats étaient statistiquement significatifs avec 1,16mm de mouvement par mois pour le groupe AcceleDent® comparé à 0,79mm/mois pour le groupe contrôle. (60)

2.6 La nouvelle technologie

La planification de l'orthodontie a évolué en un monde numérique en trois dimensions. AU cours des derniers dix ans, on a vu apparaître la photographie numérique, suivie par la radiographie numérique. Avec la venue des modèles numériques, il est maintenant possible de prendre des mesures pour des fins diagnostiques directement avec un logiciel. (61)

2.6.1 Le logiciel OrthoCAD

Les systèmes qui permettent de produire des modèles diagnostiques virtuels en trois dimensions offrent plusieurs avantages. Comparés aux modèles de plâtres, les modèles numériques sont beaucoup plus faciles à retrouver, ils prennent beaucoup moins d'espace de rangement, ils sont transférables facilement et ils ne se détériorent pas avec le temps. Le logiciel OrthoCAD a été développé par la compagnie Cadent, Ind (Computer-aided Dentistry, Fairview, NJ, USA). Plusieurs mesures diagnostiques peuvent être prises avec ce logiciel, telles que le surplomb horizontal, le surplomb vertical, l'analyse d'espace, le ratio de Bolton, l'évaluation pour l' «American Board of Orthodontics » (ABO), etc. (62) Naidu *et al.* ont fait une étude sur la reproductibilité, la fiabilité et la validité du scanner intraoral iOC (Cadent). Les modèles ont été analysés avec le logiciel OrthoCAD. Ils ont conclu que le système scanner iOC/OrthoCAD a une précision cliniquement acceptable pour la mesure des largeurs de dents et le calcul des ratios de Bolton. Aussi, la fiabilité et la reproductibilité de la méthode numérique étaient excellentes. (63)

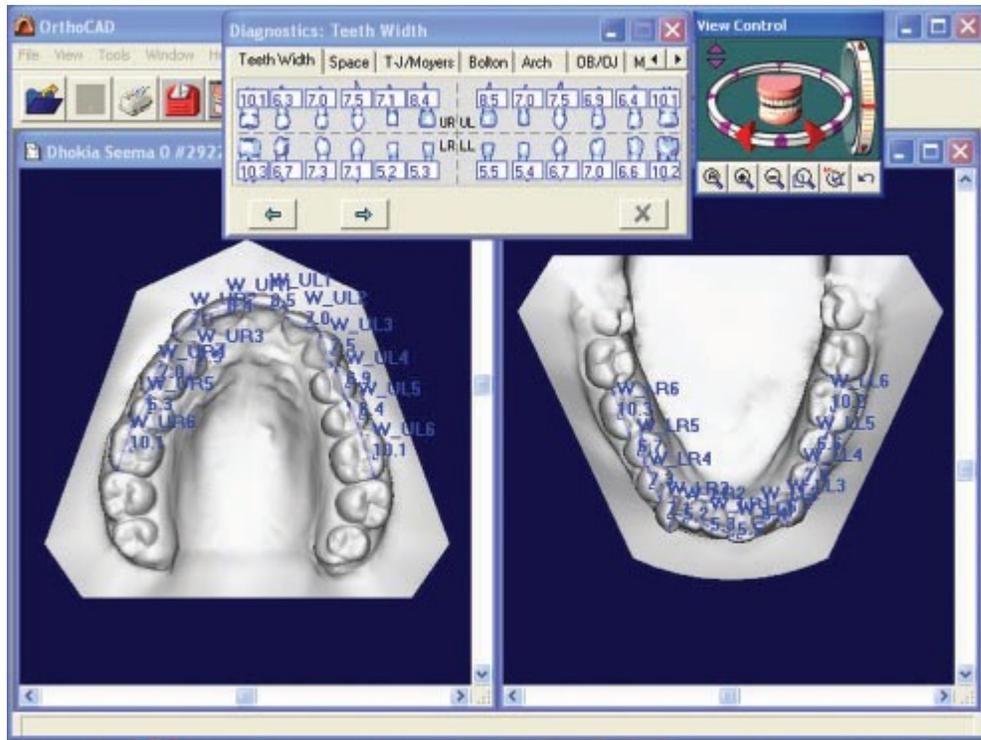


Figure 13 : Logiciel OrthoCAD

2.6.2 L'AcceleDent®

L'AcceleDent® a été mis sur le marché par OrthoAccel Technologies en 2009. Ce dispositif est composé d'un activateur, qui génère des micropulsions, et d'un embout buccal disponible en différentes grandeurs selon les arcades dentaires. Le patient place l'appareil entre ses dents et mord pendant 20 minutes par jour, et ce pour toute la durée du traitement orthodontique. L'AcceleDent® vibre à une fréquence de 30 Hz avec une force d'une valeur de 25 grammes. L'AcceleDent® est approuvé par le « Food and Drug Administration » (FDA) comme un dispositif médical de classe II, mais il est contre-indiqué si un patient prend des médicaments pour l'ostéoporose ou s'il a une maladie parodontale non contrôlée. (64, 65)



Figure 14 : AcceleDent Aura®
(Image adaptée du site <http://acceleddent.com/>) (19)

Ce dispositif est muni d'un microprocesseur qui permet d'enregistrer l'utilisation et d'une clé USB pouvant être branchée à un ordinateur pour télécharger le graphique FastTrac qui a enregistré la date, l'heure et le temps d'utilisation. (19)



Figure 15 : Embout USB de l'AcceleDent Aura®
(Image adaptée du site <http://acceleddent.com/>) (19)

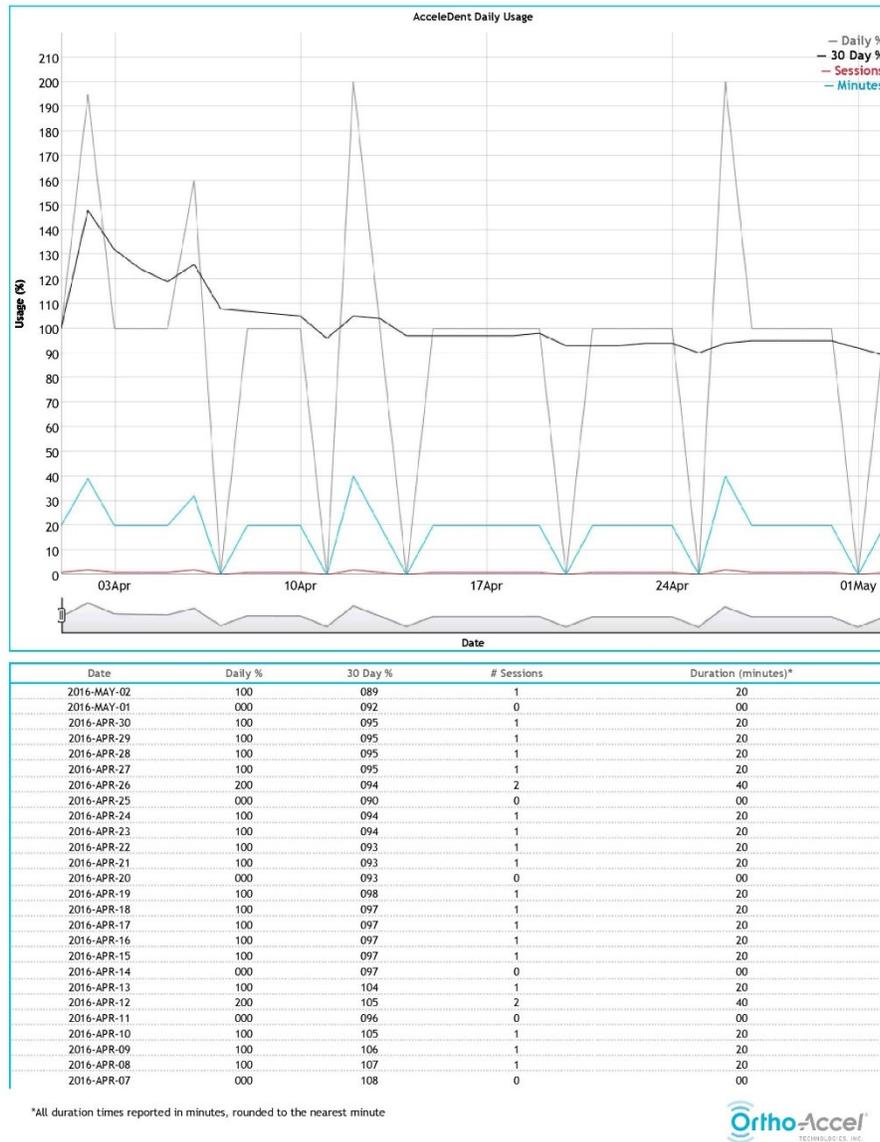


Figure 16 : Exemple de graphique FastTrac (OrthoAccel Technologies Inc, 2016) (66)

À ce jour, aucune étude n'a été menée pour analyser l'efficacité du traitement avec AcceleDent® chez les patients traités avec Invisalign®. Selon l'étude de Kau, la coopération du patient pour l'utilisation de cet appareil était de 67%. Les données ont été enregistrées grâce au microprocesseur dans le dispositif. (5). De plus, Uribe *et al.* ont démontré que 78% des patients adultes, 87% des adolescents et seulement 70% de leurs parents accepteraient d'utiliser un appareil vibratoire quelconque pour accélérer le traitement d'orthodontie. (2)

2.6.3 Le logiciel ClinCheck®

Ce logiciel, qui a été développé par Align Technology, est la base de toute interaction entre l'orthodontiste et l'industrie fabriquant les gouttières Invisalign®. C'est le point de départ pour l'évaluation du traitement spécifique au patient. L'orthodontiste peut évaluer et modifier les étapes du traitement qui sont incorporées dans les coquilles d'alignement et il peut analyser la simulation virtuelle de l'objectif du traitement. Par conséquent, selon l'orthodontiste, les mouvements des dents simulés numériquement devraient être autant que possible réalistes et raisonnables selon la quantité, la vitesse et la direction des mouvements. Une concordance entre le ClinCheck® et le résultat réel est voulue. Ceci est particulièrement important parce que l'orthodontiste a moins d'influence pendant le traitement orthodontique puisque les mouvements sont prédéterminés. (32)

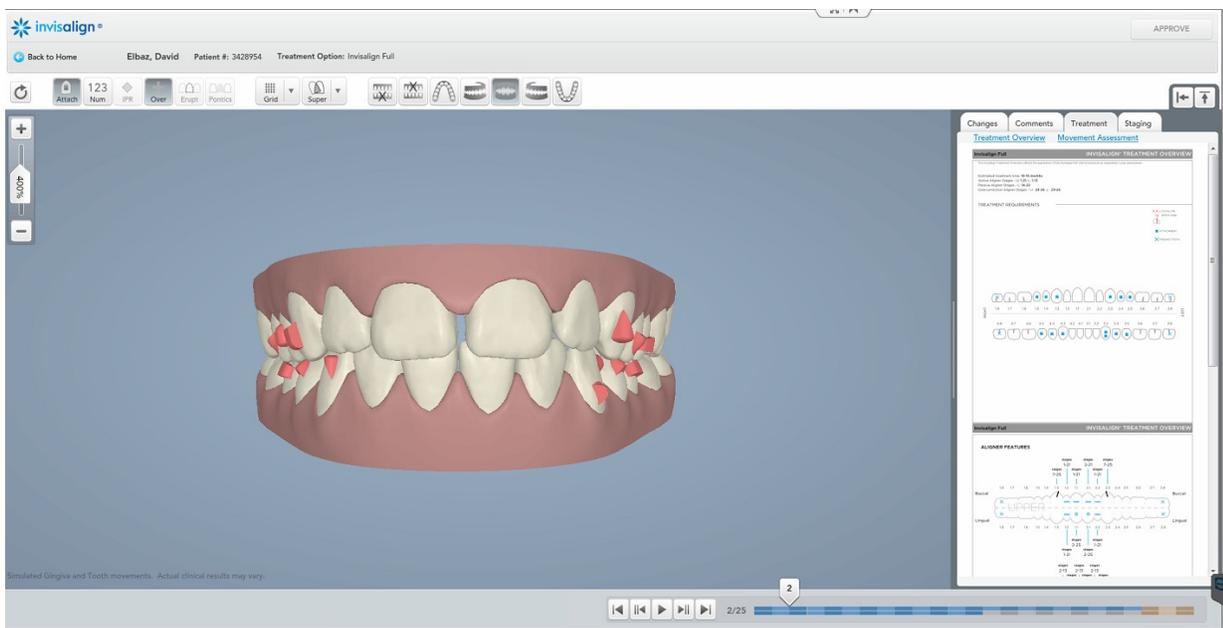


Figure 17: Logiciel ClinCheck®

2.7 American Board of Orthodontics Objective Grading System

Conçu pour améliorer la fiabilité des examinateurs de l'ABO et donner aux candidats un moyen de déterminer si les cas orthodontiques finis sont adéquats, l'«Objective Grading System» (OGS) est un outil quantitatif pour classer les modèles finaux et les radiographies panoramiques soumises à l'examen de la phase III. Les deux systèmes d'évaluations, soit le «Discrepancy index» (DI) et l'OGS sont des outils fiables et valides pour mesurer les données pré-traitement et post-traitement.(67) Puisque la certification de l'ABO est le plus haut niveau de compétence en orthodontie, les critères sont utilisés dans plusieurs études pour évaluer la qualité du résultat d'un traitement orthodontique quelconque. Les données pré-traitement, les modèles et la radiographie céphalométrique latérale sont analysés avec le DI pour classer les patients selon la sévérité de leur malocclusion. Les données post-traitement, les modèles et la radiographie panoramique sont analysés avec l'aide du OGS.

Tableau III : Mesures des analyses

Discrepancy Index	Objective Grading System
Surplomb horizontal	Alignement
Surplomb vertical	Crêtes marginales
Béance antérieure	Inclinaison buccolinguale
Béance postérieure	Contacts occlusaux
Chevauchement	Relation occlusale
Occlusion	Surplomb horizontal
Occlusion croisée linguale	Contacts interproximaux
Occlusion croisée buccale	Inclinaison radiculaire
Radiographie céphalométrique	
Autre	

3 Objectifs et hypothèses de l'étude

3.1 Objectifs

Le but de cette étude est de déterminer si l'appareil AcceleDent® peut réduire considérablement le temps de traitement pour les patients traités avec Invisalign® et toujours obtenir la même qualité de résultats que chez les patients suivant le protocole de progression des coquilles d'alignement recommandé. Nous allons comparer l'alignement final de deux groupes ayant des malocclusions originales semblables, un groupe suivant le protocole Invisalign® de base et l'autre groupe utilisant le dispositif AcceleDent®.

3.1.1 Objectif primaire

L'objectif primaire est d'évaluer la précision de la simulation ClinCheck® par rapport aux résultats finaux réels pour les deux groupes.

3.1.2 Objectif secondaire

L'objectif secondaire est de déterminer si le résultat final est influencé par une progression plus rapide des gouttières d'alignement.

3.2 Hypothèses

3.2.1 Hypothèses expérimentales

Les hypothèses expérimentales sont que l'alignement final des patients traités avec le dispositif AcceleDent® sera comparable à l'alignement final des patients n'utilisant pas AcceleDent® et que l'utilisation de l'AcceleDent® permet une progression plus rapide des gouttières d'alignement sans influencer le résultat final.

3.2.2 Hypothèses nulles

Les hypothèses nulles sont que l'alignement final ne sera pas comparable entre les deux groupes et que l'appareil l'AcceleDent® n'accélère pas la progression des gouttières d'alignement ou affecte le résultat final.

4 Matériels et Méthodes

4.1 Échantillonnage

L'étude comprend 38 patients traités entre juin 2011 et janvier 2016. Les données des patients proviennent de la clinique d'orthodontie du Dr Sam Daher situé à Vancouver en Colombie-Britannique. Tous les patients ont donné leur consentement par écrit pour la participation à l'étude.

Les critères d'inclusion étaient les suivants : homme ou femme dont la croissance est terminée, avoir une dentition permanente complète, être traité avec Invisalign® et n'ayant pas besoin de chirurgie orthognatique.

Les critères d'exclusion : patient ayant eu recours à des extractions dentaires pour le traitement orthodontique, patient nécessitant d'autres mécaniques, patient ayant des fentes labiales ou palatines ou autres syndromes avec malformations et un patient qui n'a pas donné son consentement.

Les patients traités avec la technique Invisalign® et qui utilisent l'appareil AcceleDent® font partie du groupe expérimental. Les patients n'utilisant pas l'AcceleDent® font partie du groupe contrôle.

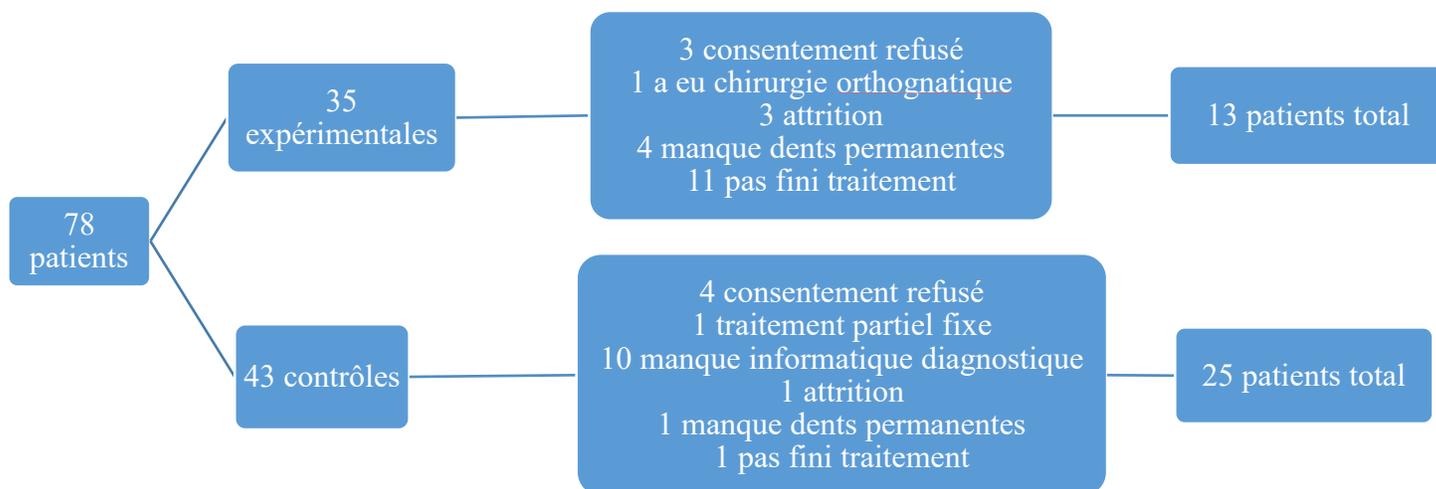


Tableau IV : Explication de l'échantillonnage final

4.2 Procédure expérimentale

Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique de la recherche de la santé de l'Université de Montréal (14-071-CERES-D, Annexes I et II). Cette dernière est une étude rétrospective comparative de deux groupes de patients : le premier groupe traité avec Invisalign® seulement et le deuxième groupe avec Invisalign® et AcceleDent®.

Le DI a été utilisé pour catégoriser les modèles initiaux selon la similitude des types de malocclusions et de la sévérité de la malocclusion. L'OGS de l'ABO a été utilisé pour les résultats post-traitement avec le scan final iTero. Toutes les données ont été prises à partir du logiciel OrthoCAD (Cadent, Fairview, NJ).

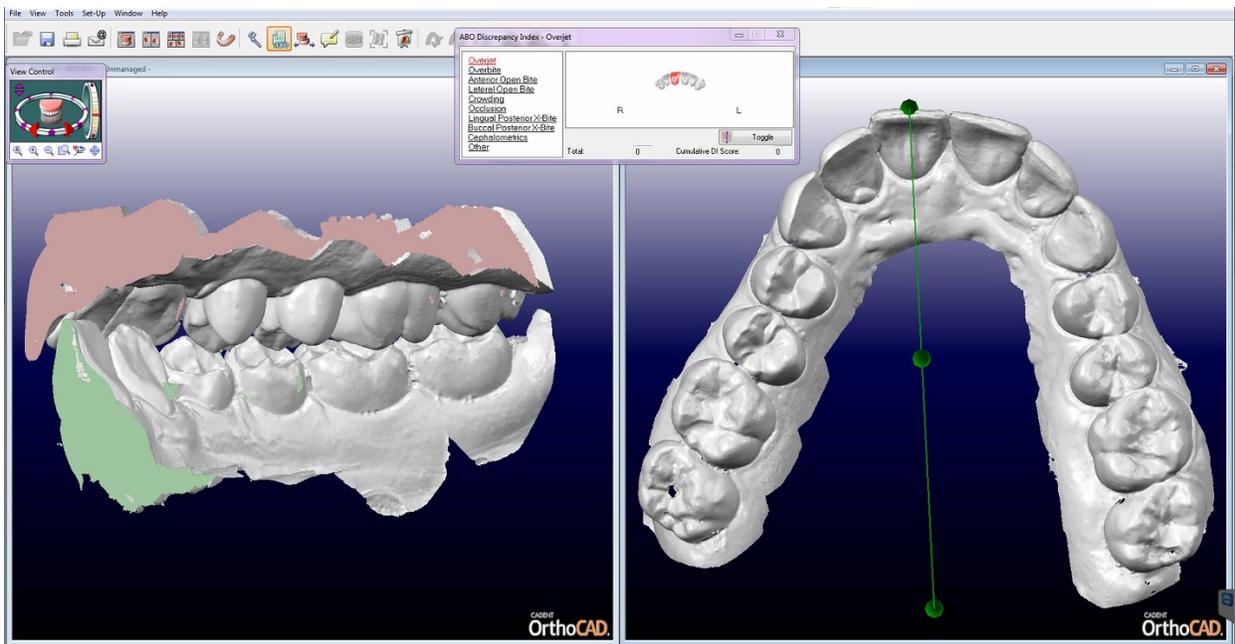


Figure 18 : Logiciel OrthoCAD pour prendre les mesures du DI

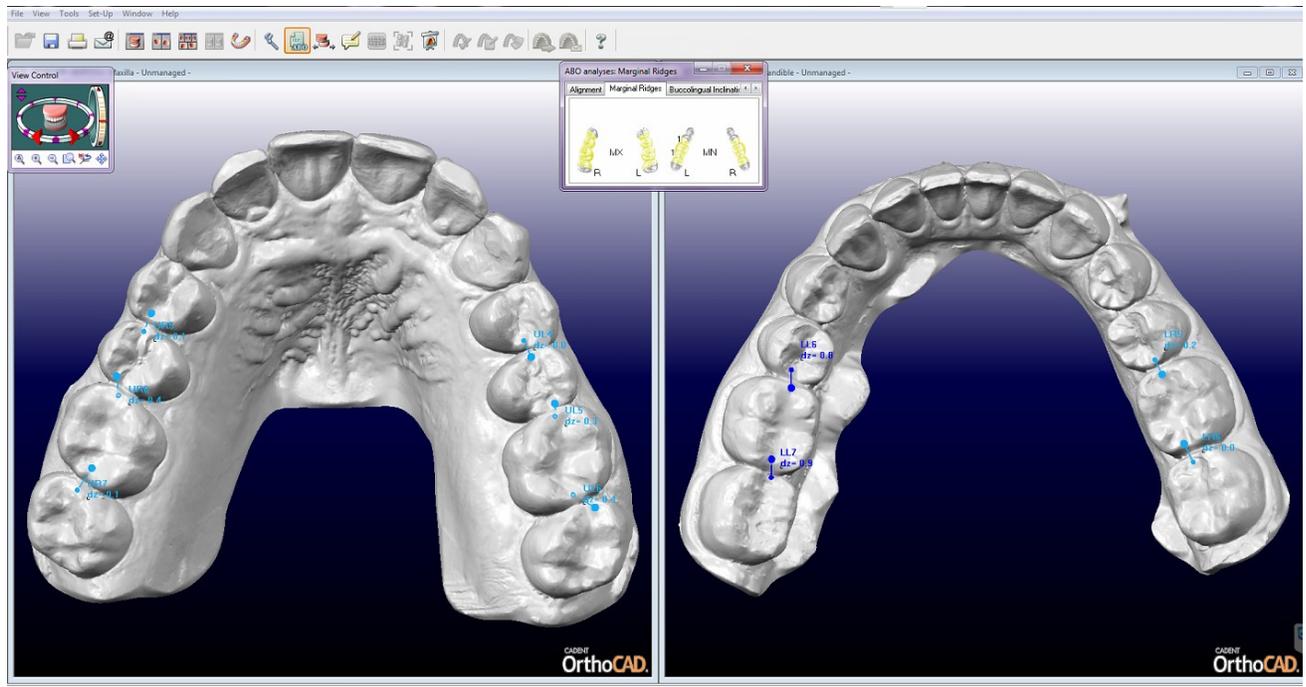


Figure 19 : Logiciel OrthoCAD pour prendre les mesures du OGS

Tableau V : Feuille pour inscrire le score du DI

EXAM YEAR _____	ABO DISCREPANCY INDEX	
ABO ID # _____	CASE# _____	PATIENT _____

TOTAL D.I. SCORE

OVERJET

≥ 0 to < 1 mm (edge-to-edge) = 1 pt

≥ 1 to ≤ 3 mm = 0 pts

> 3 to ≤ 5 mm = 2 pts

> 5 to ≤ 7 mm = 3 pts

> 7 to ≤ 9 mm = 4 pts

> 9 mm = 5 pts

Negative Overjet (x-bite):
1 pt per mm per tooth = ___ pts

Total

OVERBITE

> 1 to ≤ 3 mm = 0 pts

> 3 to ≤ 5 mm = 2 pts

> 5 to ≤ 7 mm = 3 pts

Impinging (100%) = 5 pts

Total

ANTERIOR OPEN BITE

0 mm (edge-to-edge), 1 pt per tooth = ___ pts

then 1 pt per mm per tooth = ___ pts

Total

LATERAL OPEN BITE

≥ 0.5 mm, 2 pts per mm per tooth

Total

CROWDING (only one arch)

≥ 0 to ≤ 1 mm = 0 pts

> 1 to ≤ 3 mm = 1 pts

> 3 to ≤ 5 mm = 2 pts

> 5 to ≤ 7 mm = 4 pts

> 7 mm = 7 pts

Total

OCCLUSAL RELATIONSHIP

Class I to End On = 0 pts

End-to-End Class II or III = 2 pts per side ___ pts

Full Class II or III = 4 pts per side ___ pts

Beyond Class II or III = 1 pt per mm additional ___ pts

Total

For mm measures, round up to the next full mm.
Examiners will verify measurements in each category.

LINGUAL POSTERIOR X-BITE

> 0 mm, 1 pt per tooth Total

BUCCAL POSTERIOR X-BITE

> 0 mm, 2 pts per tooth Total

CEPHALOMETRICS (See Instructions)

ANB ≥ 6° or ≤ -2° @4pts = ___

Each full degree > 6° ___ x 1 pt = ___

Each full degree < -2° ___ x 1 pt = ___

SN-MP

≥ 38° @2pts = ___

Each full degree > 38° ___ x 2 pts = ___

≤ 26° @1pt = ___

Each full degree < 26° ___ x 1 pt = ___

I to MP ≥ 99° @1pt = ___

Each full degree > 99° ___ x 1 pt = ___

Total

OTHER (See Instructions)

Supernumerary teeth ___ x 1 pt = ___

Ankylosis of permanent teeth ___ x 2 pts = ___

Anomalous morphology ___ x 2 pts = ___

Impaction (except 3rd molars) ___ x 2 pts = ___

Midline discrepancy (≥3 mm) @ 2 pts = ___

Missing teeth (except 3rd molars) ___ x 1 pt = ___

Missing teeth, congenital ___ x 2 pts = ___

Spacing (4 or more, per arch) ___ x 2 pts = ___

Spacing (mx cent diastema ≥ 2 mm) @ 2 pts = ___

Tooth transposition ___ x 2 pts = ___

Skeletal asymmetry(nonsurgical tx) @ 3 pts = ___

Addl. treatment complexities ___ x 2 pts = ___

Identify:

Total Other

30130315

Tableau VI : Feuille pour inscrire le score du OGS

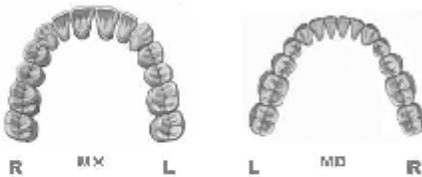
4-12-2010 for print use only.
 For electronic submission requirement -
 use ABO Case Report Work File (pdf).

ABO Cast-Radiograph Evaluation

Case # Patient

Total C-R Eval Score:

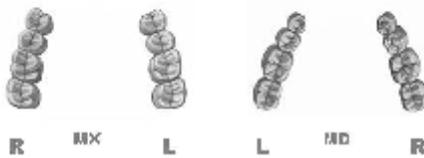
Alignment/Rotations



Marginal Ridges



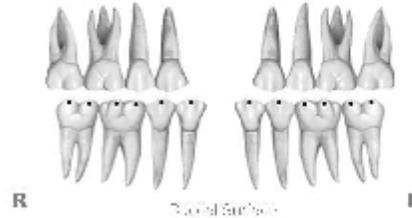
Buccolingual Inclination



Overjet



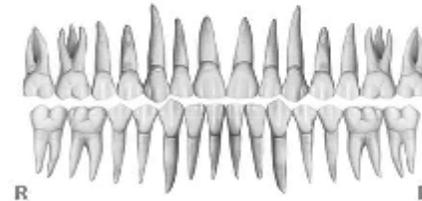
Occlusal Contacts



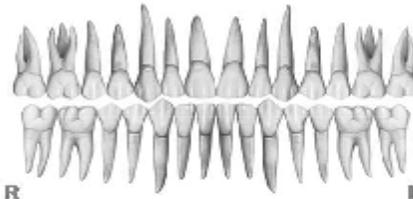
Occlusal Relationships



Interproximal Contacts



Root Angulation



INSTRUCTIONS: Place score beside each deficient tooth and enter total score for each parameter in the white box. Mark extracted teeth with "X". Second molars should be in occlusion.

Quatre mesures ont été prises avec le logiciel ClinCheck® pour la prédiction des résultats. Le surplomb horizontal, le surplomb vertical, l'alignement et les contacts interproximaux. Les surplombs ont été calculés à partir de la grille comme dans l'exemple suivant.

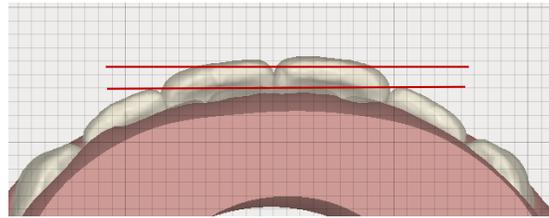


Figure 20 : Mesure du surplomb horizontal

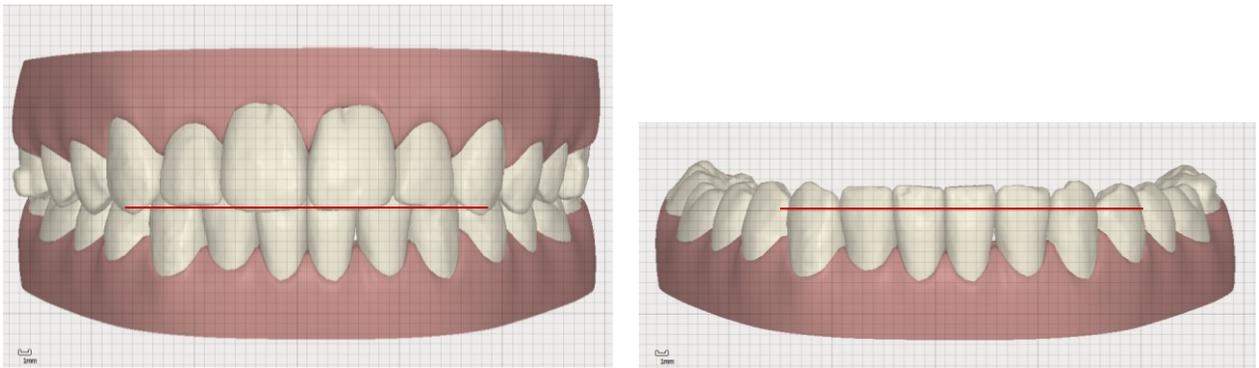


Figure 21 : Mesure du surplomb vertical

L'alignement et les contacts interproximaux ont été évalués visuellement à partir du ClinCheck®.

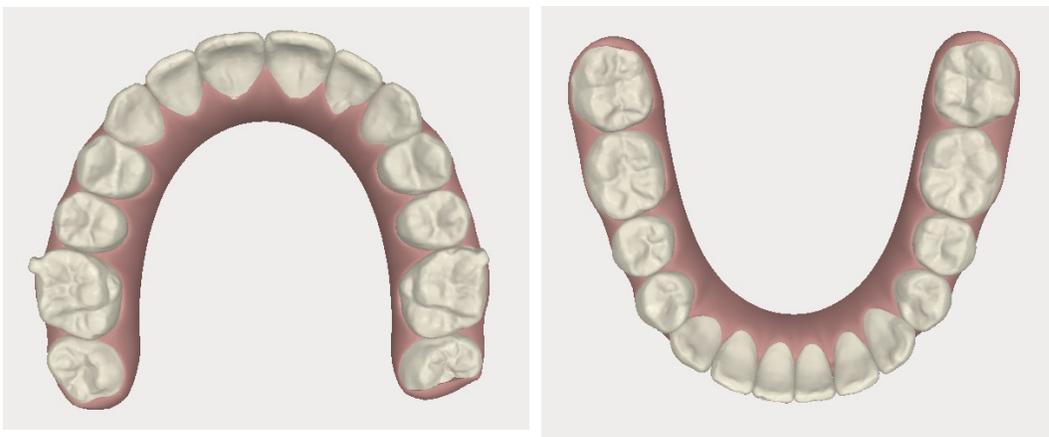


Figure 22 : Vues occlusales pour évaluer l'alignement et les contacts interproximaux

5 Article

COMPARAISON ENTRE LA SIMULATION D'ALIGNEMENT DU CLINCHECK® ET LES
MODÈLES NUMÉRIQUES FINAUX DES PATIENTS TRAITÉS PAR LA TECHNIQUE
INVISALIGN® AVEC OU SANS L'APPAREIL ACCELEDENT®

Blais, Caroline, DMD

Montpetit, Andrée, DMD, MSc (Ortho), FRCD (C)

Lam, Kenneth, DMD MSc (Ortho), FRCD (C)

Rompré, Pierre, MSc

Section d'orthodontie, Faculté de médecine dentaire, Université de Montréal, Montréal
(Québec), Canada

Adresse de correspondance :

Faculté de médecine dentaire

Université de Montréal

3525 Chemin Queen Mary

Montréal, (Québec), H3V 1H9

Canada

Résumé

INTRODUCTION: Alors qu'il existe aujourd'hui différents genres de traitements orthodontiques esthétiquement acceptables, les patients s'inquiètent maintenant de la durée des traitements. L'appareil AcceleDent® a été introduit sur le marché par OrthoAccel Technologies en 2009. Ce dispositif, placé entre les dents pendant 20 minutes par jour, vibre à une fréquence de 30 Hz et est préconisé pour accélérer le traitement. L'objectif primaire est d'évaluer la précision de la simulation ClinCheck® par rapport aux résultats finaux réels pour les deux groupes. L'objectif secondaire est de déterminer si le résultat final est influencé par une progression plus rapide des gouttières d'alignement.

MATÉRIELS & MÉTHODES: Une étude rétrospective qui comprend 38 patients traités avec la technique Invisalign®. Le groupe expérimental, c'est-à-dire celui qui utilise l'AcceleDent®, comprend 13 patients tandis que le groupe contrôle inclut 25 patients. La sévérité de la malocclusion a été quantifiée avec le «Discrepancy Index de l'ABO». Concernant la prédiction des résultats de la simulation ClinCheck® et le résultat du traitement final, l'«Objective Grading System de l'ABO » a été utilisé pour quantifier ces derniers. Toutes les données ont été prises à partir du logiciel OrthoCAD (Cadent, Fairview, NJ).

RÉSULTATS ET DISCUSSION: Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre la malocclusion des 2 groupes. ($p=0,761$). Pour les résultats finaux, il existe une différence statistiquement significative. L'alignement est meilleur dans le groupe contrôle ($p=0,002$). Au sein de chaque groupe, la différence entre les résultats prédits et réels n'est pas statistiquement significative ($p=0,056$). L'utilisation de l'AcceleDent® semble donner un surplomb horizontal plus proche de celui prédit, cependant ceci n'est pas cliniquement significatif.

CONCLUSION: L'utilisation de l'appareil AcceleDent® combiné à une progression plus rapide des coquilles aux sept jours influence négativement l'alignement final chez les patients traités par la technique Invisalign®.

Mots-clés : Invisalign®, ClinCheck®, AcceleDent®, orthodontie, alignement

Introduction

L'esthétique a toujours été un facteur important pour la société. Il est très fréquent aujourd'hui de voir des patients opter pour des traitements orthodontiques de type invisible. Dans le domaine dentaire, comme dans n'importe quel domaine, la technologie est en évolution constante. Par exemple, en 1999 on a vu apparaître sur le marché la technique Invisalign® conçue par Align Technology. Cette technique consiste en une série de gouttières claires thermoformées pour induire des mouvements dentaires. Ces gouttières sont portées pour un minimum de 21 heures par jour et sont changées aux deux semaines. Chaque gouttière est fabriquée pour déplacer une dent ou une série de dents d'environ 0,25 à 0,3mm. (14)

Le principe sur lequel repose tout mouvement orthodontique est celui de la réponse du parodonte en réaction aux forces qui lui sont imposées. Le remodelage osseux survient lorsque le ligament parodontal ressent des tensions et des compressions qui induisent un changement local de la vascularisation, ainsi qu'une réorganisation cellulaire et extracellulaire. Ces changements amènent une synthèse d'interleukines, de neurotransmetteurs, de facteurs de croissance ainsi que des métabolites de l'acide arachidonique qui produiront une résorption d'os aux sites de compression et une déposition d'os aux sites de tension. (26)

Alors qu'il existe aujourd'hui différents genres de traitements esthétiquement acceptables, les patients s'inquiètent maintenant de la durée des traitements.(1) Quand le traitement est commencé, les patients ont hâte de voir le résultat final en espérant le terminer le plus rapidement possible. Puisque le traitement orthodontique se déroule sur une longue période de temps, les risques de caries, de résorptions radiculaires et de maladies parodontales sont plus élevés.(3) Enfin, l'idéal serait d'augmenter le remodelage osseux et raccourcir le temps de traitement. Avec les méthodes actuelles de traitements, on peut s'attendre à 1mm de mouvement par mois. (5)

Plusieurs études ont été faites pour tenter de trouver un moyen d'accélérer les mouvements dentaires. Les méthodes physiques incluent une radiation avec laser à basse énergie et un champ magnétique. (4) Des méthodes pharmacologiques comme l'administration de

prostaglandines, de Calcitriol (1,25-(OH)₂D₃), d'ostéocalcine, d'hormone parathyroïdienne et de glucocorticoïdes ont été testés dans plusieurs études. (39, 68) Cependant, de nombreux effets secondaires, tels que douleur locale, résorption radiculaire accrue et effets secondaires induits par les médicaments ont été signalés.(3). Enfin, même des techniques chirurgicales pour tenter d'accélérer le mouvement dentaire ont été utilisées. Ces dernières incluent la fibrotomie supracrestale, la distraction dento-alvéolaire, les corticotomies, la piézocision et tout récemment les micro-ostéoperforations. (4, 45, 53, 55)

L'AcceleDent® a été mis sur le marché par OrthoAccel Technologies en 2009. Ce dispositif est composé d'un activateur, qui génère des micropulsions, et d'un embout buccal venant en différentes grandeurs selon les arcades dentaires. Le patient place l'appareil entre ses dents et mord pendant 20 minutes par jour, et ce pour toute la durée du traitement orthodontique. L'AcceleDent® vibre à une fréquence de 30 Hz avec une force d'une valeur de 25 grammes. L'AcceleDent® est approuvé par la FDA comme un dispositif médical de classe II.(64) À ce jour, aucune étude n'a été menée pour analyser l'efficacité du traitement avec AcceleDent® chez les patients traités avec Invisalign®.

Le logiciel ClinCheck®, développé par Align Technology, est la base de toute interaction entre l'orthodontiste et l'industrie fabriquant les gouttières Invisalign®. C'est le point de départ pour l'évaluation du traitement spécifique au patient. L'orthodontiste peut évaluer et modifier les étapes du traitement qui sont incorporées dans les coquilles d'alignement et il peut analyser la simulation virtuelle de l'objectif du traitement. Par conséquent, selon l'orthodontiste, les mouvements des dents simulés numériquement devraient être autant que possible réalistes et raisonnables selon la quantité, la vitesse et la direction des mouvements. Une concordance entre le ClinCheck® et le résultat réel est voulue. Ceci est particulièrement important parce que l'orthodontiste a moins d'influence pendant le traitement orthodontique puisque les mouvements sont prédéterminés. (32)

Comme il a été dit précédemment, la durée du traitement est un facteur important à considérer. Plus vite il se termine, plus le patient est satisfait.(2) Le facteur rapidité n'est

cependant pas le seul, la qualité du résultat est également d'une importance capitale. Il va de soi qu'il est inacceptable d'avoir un résultat rapide et médiocre.

Cette étude va se pencher sur une méthode d'accélération du traitement orthodontique, c'est-à-dire l'AcceleDent®. L'objectif primaire de cette étude est d'évaluer la précision de la simulation ClinCheck® par rapport aux résultats finaux réels pour les deux groupes de patients. L'objectif secondaire est de déterminer si le résultat final est influencé par une progression plus rapide des gouttières d'alignement.

Matériels et méthodes

Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique de la recherche en santé de l'Université de Montréal. Cette dernière est une étude rétrospective comparative de deux groupes de patients : le premier groupe traité avec Invisalign® seulement et le deuxième groupe avec Invisalign® et AcceleDent®.

L'étude comprend 38 patients traités entre juin 2011 et janvier 2016. Les données des patients proviennent de la clinique d'orthodontie du Dr Sam Daher situé à Vancouver en Colombie-Britannique. Tous les patients ont donné leur consentement par écrit pour la participation à l'étude.

Les critères d'inclusion étaient les suivants : homme ou femme dont la croissance est terminée, avoir une dentition permanente complète, être traité avec Invisalign® et n'ayant pas besoin de chirurgie orthognatique.

Les critères d'exclusion : patient ayant eu recours à des extractions dentaires pour le traitement orthodontique, patient nécessitant d'autres mécaniques, patient ayant des fentes labiales ou palatines ou autres syndromes avec malformations et un patient qui n'a pas donné son consentement.

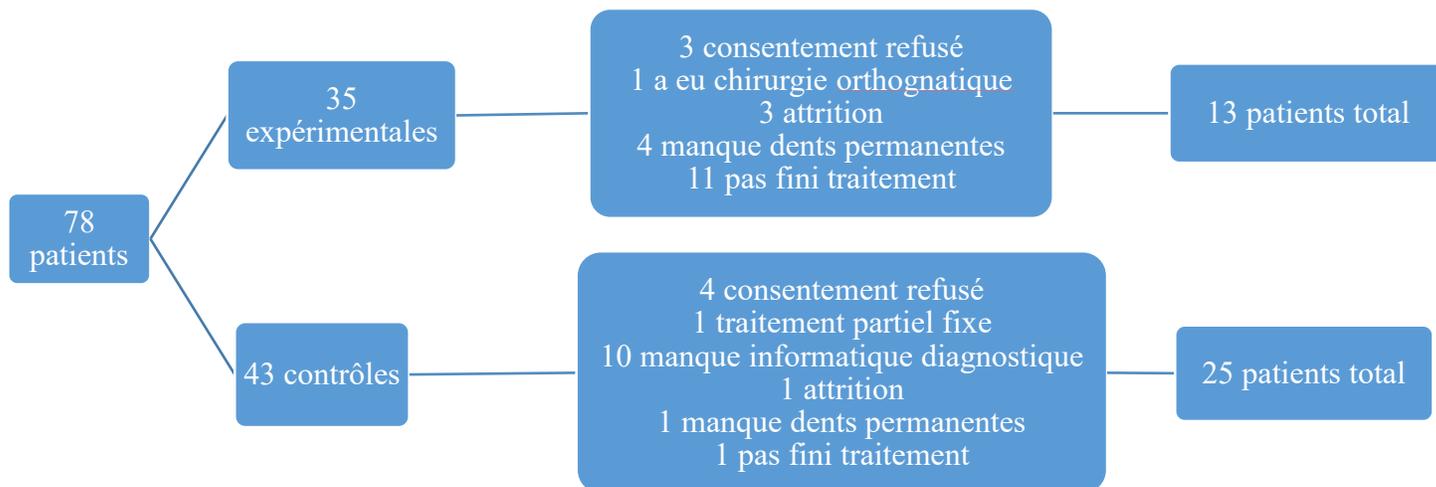


Tableau VII: Explication de l'échantillonnage final

Analyses statistiques

Le Discrepancy Index a été utilisé pour catégoriser les modèles initiaux. Le test *U de Mann-Whitney* a été utilisé pour vérifier si la sévérité des malocclusions initiales entre les 2 groupes étaient similaires. Concernant le type de malocclusion, soit Classe I, II ou III, le test exact de Fisher a été utilisé.

L'OGS de l'ABO a été utilisé pour les résultats post-traitement avec le scan final iTero. Ainsi, le test *U de Mann-Whitney* a servi pour vérifier si la qualité des résultats chez le groupe expérimental et chez le groupe contrôle sont similaires. Toutes les données ont été prises à partir du logiciel OrthoCAD (Cadent, Fairview, NJ).

Pour la prédiction des résultats, quatre mesures ont été prises avec le logiciel ClinCheck®, c'est-à-dire le surplomb horizontal, le surplomb vertical, l'alignement et les contacts interproximaux. Ces derniers ont été calculés visuellement à partir de la grille dans le logiciel.

Le test *U de Mann-Whitney* a été utilisé pour comparer les différences entre le résultat prédit et le résultat final au sein de chaque groupe.

Les données ont été analysées avec le logiciel statistique SPSS par le statisticien de la Faculté de médecine dentaire de l'Université de Montréal, Monsieur Pierre Rompré MSc. Une valeur de $p < 0,05$ sera considérée statistiquement significative.

Résultats

Comparaison du DI

Le graphique suivant indique que le groupe contrôle avait un DI médian de 14 (3,0-24,0) et le groupe expérimental avait un DI médian de 15 (2,0-35,0). Le p a une valeur de 0,761 donc il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les 2 groupes selon la sévérité de la malocclusion. Concernant le type de malocclusion, soit Classe I, II ou III, elles étaient similaires puisque le $p = 0,397$.

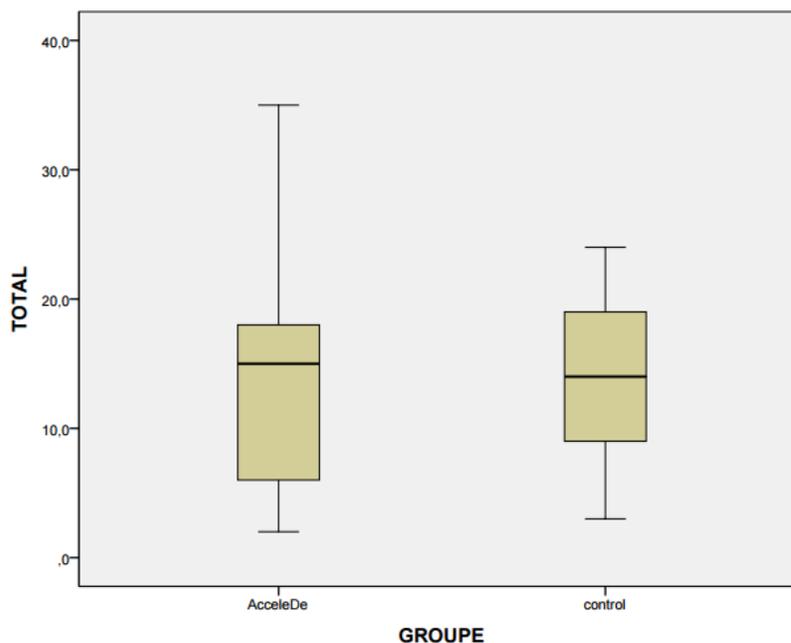


Figure 23 : Graphique du DI pour les deux groupes

Comparaison du OGS

Le groupe expérimental avait un score médian de 3 (0,0-9,0) pour l'alignement final tandis que celui du groupe contrôle était 0 (0,0-4,0). Il y a une différence statistiquement significative entre les groupes, car le p a une valeur de 0,002.

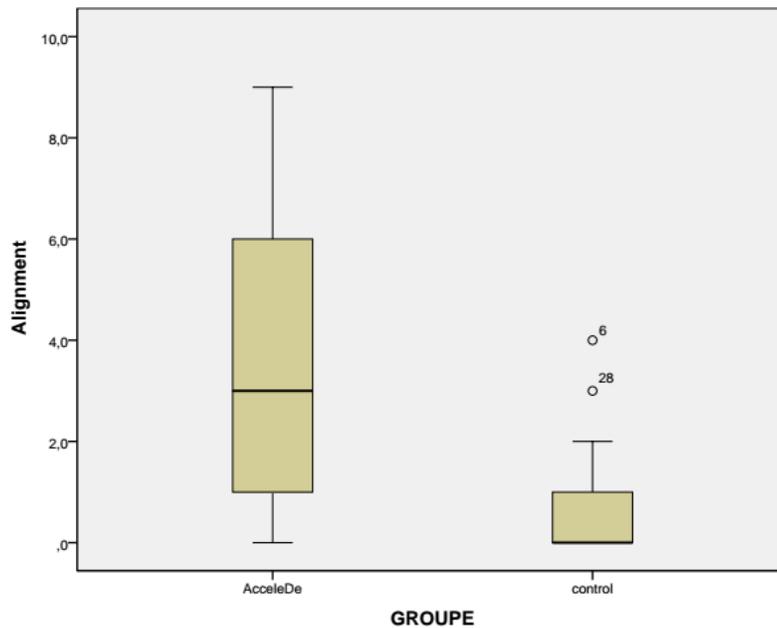


Figure 24 : Graphique de l'alignement pour les deux groupes

Le score pour les contacts interproximaux était 0 pour les deux groupes donc aucune différence entre ceux-ci.

Selon le graphique suivant, le surplomb horizontal variait entre 0,7mm et 3,7mm avec une médiane de 2,5mm pour le groupe expérimental. Celui du groupe contrôle variait entre 1,2mm et 4,8mm avec une médiane de 2,4mm pour le groupe contrôle.

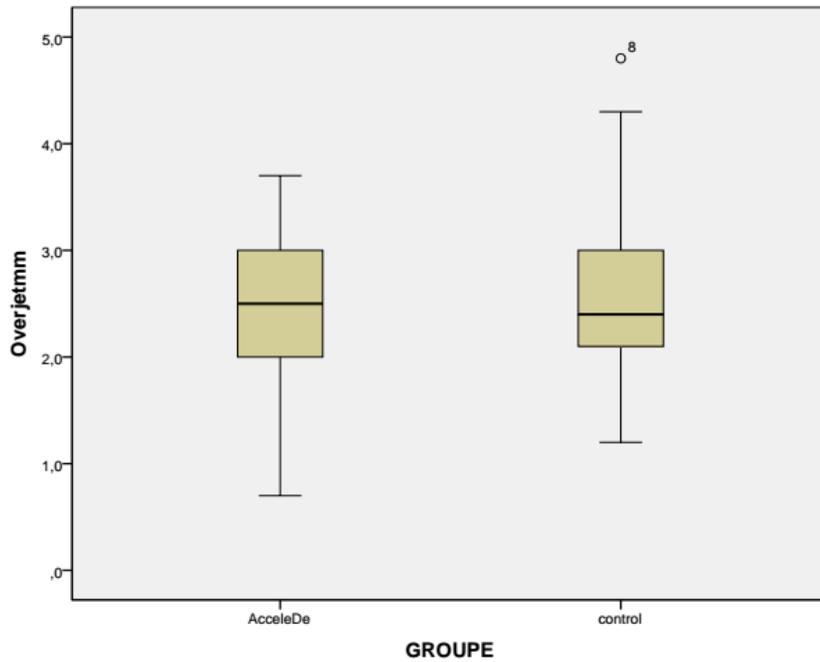


Figure 25 : Graphique du surplomb horizontal pour les deux groupes

Ce graphique indique que le surplomb vertical du groupe expérimental variait entre -1,5mm et 4,5mm avec une médiane de 2,5mm. Pour le groupe contrôle, il variait entre 0,5mm et 5,0 mm avec une médiane de 2,5mm.

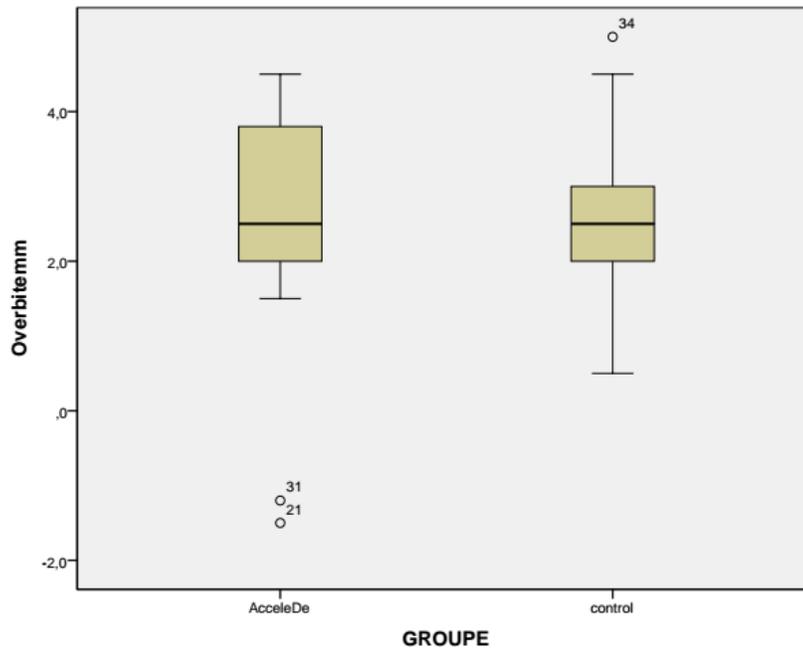


Figure 26 : Graphique du surplomb vertical pour les deux groupes

La valeur du p pour les deux types de surplombs est plus grande que 0,05 donc il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes au niveau du surplomb horizontal et vertical.

Comparaison entre le résultat prédit et le résultat final chez les deux groupes

La moyenne entre le surplomb horizontal prédit et celui final du groupe contrôle était de -0,34mm, tandis que chez le groupe expérimental, la moyenne est de -0,02mm. La différence entre les résultats prédits et réels n'est pas statistiquement significative puisque le $p=0,056$. Le graphique suivant démontre les différences au sein de chaque groupe.

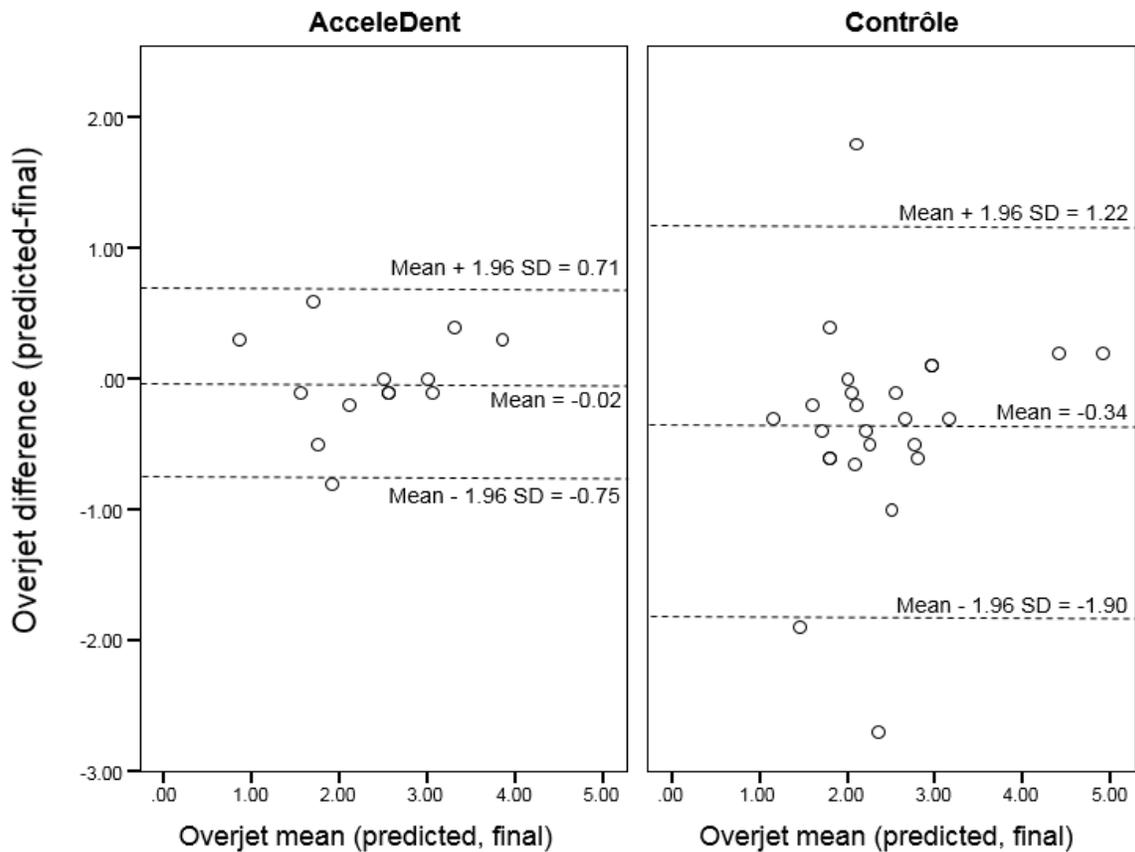


Figure 27 : Graphique de Bland-Altman : les différences entre le surplomb horizontal prédit et réel

La différence entre le surplomb vertical prédit et réel n'est pas statistiquement significative puisque le $p=0,447$. La moyenne du groupe contrôle était de $-0,18\text{mm}$, et celle du groupe expérimental, était de $0,12\text{mm}$.

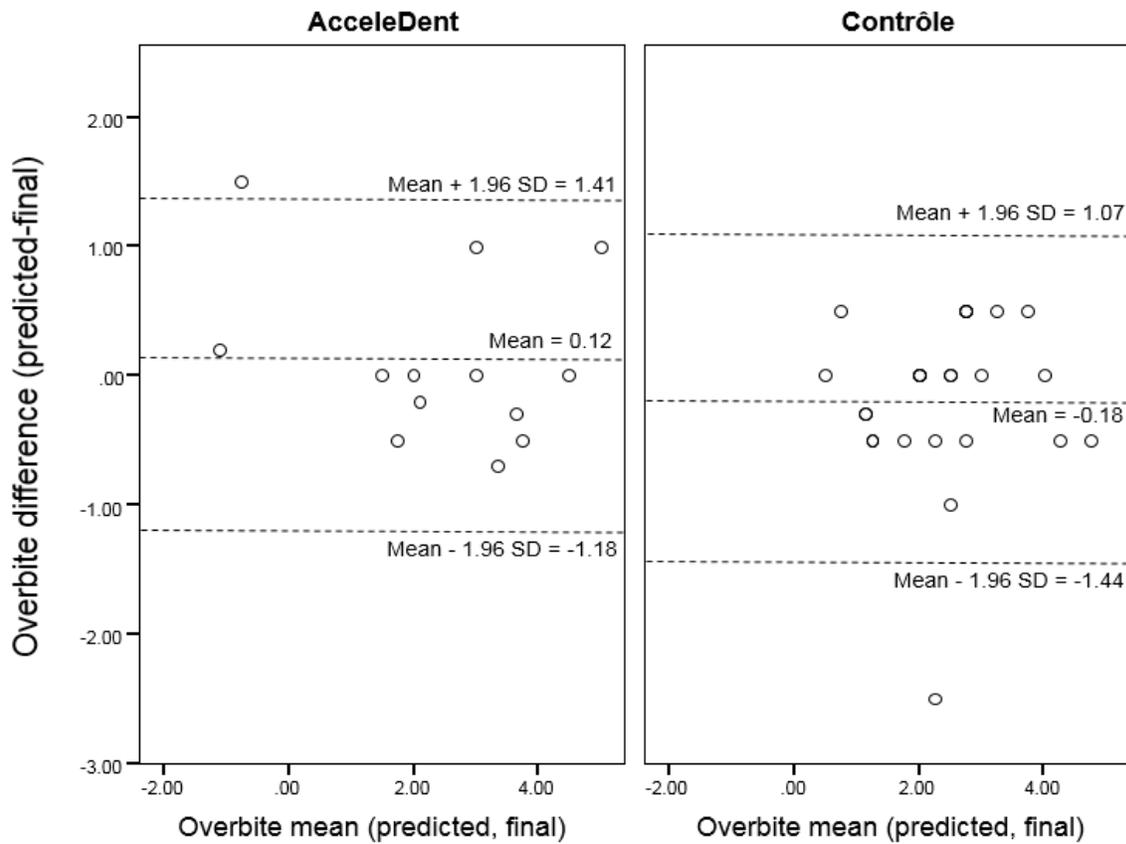


Figure 28 : Graphique de Bland-Altman: les différences entre le surplomb vertical prédit et réel

Concernant l'alignement, la moyenne entre le score prédit et réel était de -1,62 pour le groupe AcceleDent® et 0,60 pour le groupe contrôle. La différence n'est pas statistiquement significative, car le $p=0,056$.

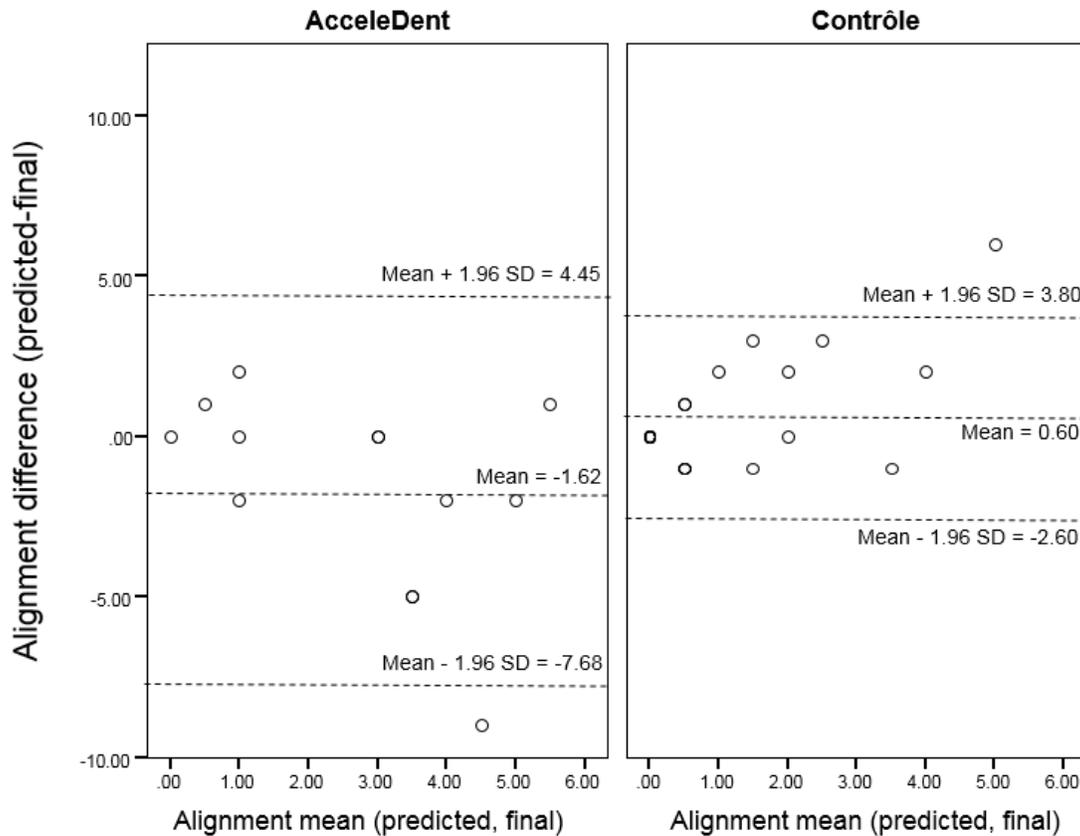


Figure 29 : Graphique de Bland-Altman : les différences entre l'alignement prédit et réel

Fiabilité intra-opérateur et inter-opérateur

Pour évaluer la fiabilité intra-opérateur et inter-opérateur des mesures, le coefficient de corrélation intraclasse (ICC) a été employé.

La fiabilité intra-opérateur est considérée comme excellente avec un ICC pour le DI d'une valeur de 0,942 et celle du OGS d'une valeur de 0,961. Le ICC pour la fiabilité inter-opérateur est de 0,816 pour le DI, qui est considéré comme bon. La fiabilité inter-opérateur pour l'OGS est excellente avec une valeur de 0,925.

Discussion

Cette étude est la première qui évalue le résultat d'un traitement orthodontique avec la technique Invisalign® avec une utilisation concomitante de l'appareil AcceleDent®. Krieger *et al.* ont publié une étude pilote, en 2011, sur l'exactitude du traitement Invisalign® en région antérieure. Ils ont comparé 35 ClinChecks® avec les modèles finaux en mesurant les surplombs horizontal et vertical, ainsi que les lignes médianes dentaires. Leurs résultats étaient significatifs pour le surplomb vertical avec une différence de 0,9mm entre la simulation du résultat et la réalité.(31) En 2012, Krieger *et al.* ont refait cette étude avec un plus grand échantillon, c'est-à-dire avec 50 patients. Ils ont mesuré plus de paramètres tels que la longueur de l'arcade antérieure, la distance intercanine, l'index d'irrégularité de Little, les surplombs horizontal et vertical et les lignes médianes dentaires. Leurs résultats concordaient avec ceux de l'étude pilote : une différence de 0,71mm pour le surplomb vertical entre la simulation et les modèles finaux. La différence entre les autres paramètres n'était pas significative. Alors, selon ces études, il est plus difficile d'obtenir des mouvements dans le plan vertical, donc il est préférable de surcorriger ou d'ajouter des attaches additionnelles sur les prémolaires pour augmenter l'ancrage afin d'obtenir un résultat final acceptable.(32)

La présente étude a comparé 38 ClinChecks® avec les modèles finaux. Quatre mesures, dont le surplomb horizontal, le surplomb vertical, l'alignement et les contacts interproximaux, ont été prises à l'aide de la grille pour le ClinCheck® et le logiciel OrthoCAD pour le scan final. La moyenne entre le surplomb horizontal prédit et celui final du groupe contrôle était de -0,34mm, tandis que chez le groupe expérimental, la moyenne est de -0,02mm. L'utilisation de l'AcceleDent® semble donner un surplomb horizontal plus proche de celui prédit, cependant ceci n'est pas cliniquement significatif. Pour le surplomb vertical du groupe contrôle, la moyenne entre celui prédit et celui final était de -0,18mm, et celle du groupe expérimental, était de 0,12mm. Ces différences ne sont pas statistiquement significatives. Ce qui pourrait expliquer la différence entre l'étude de Krieger et celle-ci est que depuis les dernières années les mouvements verticaux ont été améliorés à l'aide d'attaches spécifiques (*optimized attachments*), un meilleur positionnement de celles-ci, ainsi qu'un nouveau plastique nommé SmartTrack®. Depuis l'arrivée de ce nouveau matériel en 2013, les forces générées par les coquilles sont plus constantes. Ainsi, les coquilles sont flexibles et conçues pour s'adapter plus précisément à la

morphologie des dents et aux attaches pour permettent un meilleur contrôle du mouvement des dents. (69)

La moyenne entre le score prédit et réel pour l'alignement du groupe contrôle était 0,60, tandis que la moyenne du groupe AcceleDent® était -1,62. Le score d'alignement est calculé selon l'OGS de l'ABO en regardant la continuité des bouts incisifs et des surfaces linguales des dents antérieures au maxillaire et des bouts incisifs et des surfaces labiales des dents antérieures inférieures. Pour évaluer l'alignement des dents postérieures, il faut examiner les fosses centrales des dents supérieures et les cuspidés mésio-buccales et disto-buccales des dents inférieures. Pour chaque dent hors de l'alignement de 0,5 à 1mm, un score de 1 est donné ou hors de l'alignement de >1mm, 2 points sont attribués pour celle-ci. Donc, même si la différence entre le score prédit et réel pour les deux groupes est statistiquement significative, cliniquement cette différence n'est pas significative. La moyenne du groupe AcceleDent® était environ 2 points, ce qui indique que 2 dents étaient mal-alignées de 0,5 à 1mm ou seulement une dent était mal-alignée de >1mm. Statistiquement, l'alignement était meilleur chez les patients n'utilisant pas l'AcceleDent®. Ceci peut être possiblement expliqué par le fait que les patients changeaient leurs coquilles aux 14 jours au lieu de 7 jours comme dans le groupe expérimental. Comme chaque coquille est programmée pour bouger une dent ou une série de dents de 0,25 à 0,30mm, en les portant plus longtemps, elles ont pu s'exprimer davantage. Lorsqu'une coquille est changée trop rapidement, le mouvement incorporé dans celle-ci n'a pas le temps de tout s'effectuer. Bref, ceci entraîne du retard dans l'alignement des dents qui s'enchaîne et s'accumule de coquille en coquille.

En 2011, l'Université du Texas a testé l'AcceleDent® sur le taux de mouvement dentaire pour fermer un espace d'extraction chez 45 patients traités par l'orthodontie fixe. La différence était significative entre le groupe AcceleDent® et le groupe contrôle. Ils ont noté une accélération de 38% des mouvements dentaires comparativement au groupe contrôle.(58) L'étude de Pavlin, en 2015, rapportait une accélération de 37% chez les patients utilisant l'AcceleDent® qui étaient traités avec de l'orthodontie fixe. (60) Dr Orton-Gibbs, en 2015, a écrit un article sur son expérience dans sa pratique d'orthodontie. Elle mentionne que le traitement d'orthodontie a été accéléré de 38,2% chez 90 patients traités avec des boîtiers fixes. Chez les 16 patients traités par Invisalign®, la moyenne d'accélération du traitement était de 37,2% [5-55%]. Ces patients changeaient leurs gouttières chaque 7 à 10 jours. (70) Selon

Invisalign®, le standard est de changer les gouttières aux 14 jours. Donc, en se basant sur le fait qu'AcceleDent® accélère le traitement d'orthodontie d'environ 38%, les gouttières devraient être changées tous les 9 jours. Ceci pourrait expliquer l'alignement final chez les patients de cette étude qui utilisaient AcceleDent® puisqu'ils changeaient leurs coquilles à chaque 7 jours.

Certains facteurs doivent être pris en considération tels que la coopération des patients pour le port des coquilles ainsi que l'utilisation régulière de l'AcceleDent® et la taille de l'échantillon expérimental. Ces limites influencent les résultats de cette étude. De plus, les patients qui ont accepté d'utiliser l'AcceleDent® sont plus « pressés » de finir leur traitement donc plus enclin à refuser l'ajout de coquilles supplémentaires pour parfaire la finition de leur traitement.

Enfin, les quatre mesures prises à partir de la grille du ClinCheck® ne sont pas des mesures aussi précises que celles prises avec le logiciel OrthoCAD. Ceci pourrait également affecter les résultats prédits. La grille du ClinCheck® est précise à 1mm et les mesures sont calculées visuellement à partir de celle-ci. Avec OrthoCAD, les mesures sont prises automatiquement par le logiciel après avoir identifié deux points. Les mesures sont exprimées jusqu'à 0,1mm de près.

Conclusion

L'utilisation de l'appareil AcceleDent® combiné à une progression plus rapide des coquilles aux sept jours influence négativement l'alignement final chez les patients traités par la technique Invisalign®. Cette étude ne permet pas de conclure au bénéfice d'accélérer la progression des coquilles à sept jours en utilisant l'appareil AcceleDent®. D'autres études seront nécessaires, en évaluant une progression de neuf jours, pour déterminer si cette augmentation de la vitesse du mouvement affecte elle aussi négativement les résultats finaux.

Conflit d'intérêts

Aucun

6 Discussion

6.1 Vérification des hypothèses

Les hypothèses expérimentales doivent être rejetées, car l'alignement final n'est pas comparable entre les deux groupes et que l'appareil l'AcceleDent® affecte négativement l'alignement lorsque combiné à une progression deux fois plus rapide des coquilles. Changer les coquilles aux 7 jours, représente une accélération de 50%. Cependant, en se basant sur les études déjà publiées qui stipulent qu'AcceleDent® accélère le traitement d'orthodontie d'environ 38%, les gouttières auraient dû être changées tous les 9 jours.

6.2 Importance clinique

Même si l'utilisation de l'AcceleDent® permet aux patients de changer leurs coquilles Invisalign® plus vite, l'alignement final ne sera pas idéal tant que la finition n'est pas complétée. Les patients qui désirent absolument un traitement plus court doivent être conscients que la progression rapide peut nuire au résultat final. Pour atteindre un alignement optimal, ils doivent faire une nouvelle série de coquilles Invisalign® pour finir de corriger les rotations. Une étude future pourrait permettre de déterminer si le temps de traitement total avec l'AcceleDent®, c'est-à-dire de continuer avec de nouvelles coquilles jusqu'au moment où l'alignement est satisfaisant, est plus court qu'un patient n'utilisant pas le dispositif. Aussi, il serait important de télécharger les informations de la puce électronique de l'appareil AcceleDent® à chaque rendez-vous pour voir le taux de coopération et encourager le patient à l'utiliser quotidiennement.

6.3 Limitation de l'étude

Il y a plusieurs limites de la présente étude.

- La coopération des patients pour le port des coquilles Invisalign® ainsi que l'utilisation de l'appareil AcceleDent® influencent beaucoup les résultats obtenus
- Puisque la clinique d'orthodontie est située dans une autre province, il est impossible pour l'expérimentateur de faire le suivi auprès des patients qui ont manqué un rendez-vous

- La fixation des rendez-vous est hors du contrôle de l'expérimentateur
- Nombre limité de patients utilisant AcceleDent® qui ont terminé leur traitement
- Le manque de formation et d'expérience avec le logiciel OrthoCAD
- Les mesures dans le logiciel OrthoCAD sont très sensibles
- Les patients acceptaient le résultat final et préféreraient mettre fin à leur traitement même si l'alignement n'était pas parfait.

7 Conclusion

L'utilisation de l'appareil AcceleDent® combiné à une progression plus rapide des coquilles aux sept jours influence négativement l'alignement final chez les patients traités par la technique Invisalign®. Cette étude ne permet pas de conclure au bénéfice d'accélérer la progression des coquilles à sept jours en utilisant l'appareil AcceleDent®.

D'autres études seront nécessaires, en évaluant une progression de neuf jours, pour déterminer si cette augmentation de la vitesse du mouvement affecte elle aussi négativement les résultats finaux.

Pour avoir une meilleure recherche future :

- Un plus grand nombre de patients pour avoir moins de variabilité et de voir si la conclusion de cette étude s'applique toujours
- Une étude prospective avec un meilleur contrôle pour les suivis des rendez-vous permettrait de diminuer certains biais
- Pouvoir télécharger l'utilisation de l'AcceleDent® à chaque rendez-vous, donc un meilleur contrôle de la coopération
- Obtenir une meilleure formation et calibration au niveau du logiciel OrthoCAD pour améliorer l'exactitude et la reproduction des mesures
- Développer une façon plus précise pour permettre de prendre des mesures à partir du ClinCheck® (pouvoir exporter le ClinCheck® dans OrthoCAD)

8 Source de financement

Le fonds de démarrage du Dre Andrée Montpetit a servi pour défrayer les coûts liés au voyage et à l'hébergement à Vancouver pour récolter les données des patients.

9 Bibliographie

1. Sebaoun J, Surmenian J, Dibart S. [Accelerated orthodontic treatment with piezocision: a mini-invasive alternative to conventional corticotomies]. *L'Orthodontie française*. 2011;82(4):311-9.
2. 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, Supplement):S65-S73.
3. Nishimura M, Chiba M, Ohashi T, Sato M, Shimizu Y, Igarashi K, et al. Periodontal tissue activation by vibration: intermittent stimulation by resonance vibration accelerates experimental tooth movement in rats. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2008;133(4):572-83.
4. Long H, Pyakurel U, Wang Y, Liao L, Zhou Y, Lai W. Interventions for accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review. *The Angle orthodontist*. 2012;83(1):164-71.
5. Kau CH, Nguyen JT, English J. The clinical evaluation of a novel cyclical force generating device in orthodontics. *Orthodontic Practice US*. 2010;1(1):10-5.
6. Fritz U, Diedrich P, Wiechmann D. Lingual Technique – Patients' Characteristics, Motivation and Acceptance Interpretation of a Retrospective Survey. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2002;63(3):227-33.
7. Russell J. Current products and practice aesthetic orthodontic brackets. *J Orthod*. 2005;32(2):146-63.
8. <http://www.wellclinic.com/en/clarity-advanced-ceramic-brackets>.
9. Hutchinson I, Lee JY. Fabrication of lingual orthodontic appliances: past, present and future. *J Orthod*. 2013;40(s1):s14-s9.
10. Shalish M, Cooper-Kazaz R, Ivgi I, Canetti L, Tsur B, Bachar E, et al. Adult patients' adjustability to orthodontic appliances. Part I: a comparison between Labial, Lingual, and Invisalign™. *The European Journal of Orthodontics*. 2011;cjr086.
11. <http://www.healthable.org/>.
12. <http://www.aligntech.com/home>.
13. Boyd RL, Waskalic V. Three-dimensional diagnosis and orthodontic treatment of complex malocclusions with the invisalign appliance. *Semin Orthod*. 2001;7(4):274-93.
14. Joffe L. Invisalign: early experiences. *J Orthod*. 2003;30(4):348-52.
15. Kuo E, Miller RJ. Automated custom-manufacturing technology in orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2003;123(5):578-81.
16. <https://learn.invisalign.com/treatmentOptions/innovations>.
17. <http://investor.aligntech.com/releasedetail.cfm?releaseid=734376>.
18. <http://www.invisalign.com/how-invisalign-works/treatment-process>.
19. Pavoni C, Lione R, Laganà G, Cozza P. Self-ligating versus Invisalign: analysis of dento-alveolar effects. *Ann Stomatol (Roma)*. 2011;2(1-2):23.
20. Miller KB, McGorray SP, Womack R, Quintero JC, Perelmuter M, Gibson J, et al. A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;131(3):302. e1-. e9.
21. <http://groundfloorlevel.com/category/is-invisalign-better-than-metal-braces/>.
22. Glickman I, Carranza FA. *Glickman's clinical periodontology*: Saunders; 1990.
23. <http://www.medeco.de/fr/stomatologie/parodontologie/parodonte/>.

24. Meikle MC. The tissue, cellular, and molecular regulation of orthodontic tooth movement: 100 years after Carl Sandstedt. *The European Journal of Orthodontics*. 2006;28(3):221-40.
25. Van Schepdael A, Vander Sloten J, Geris L. A mechanobiological model of orthodontic tooth movement. *Biomechanics and modeling in mechanobiology*. 2013;12(2):249-65.
26. Krishnan V, Davidovitch Z. Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2006;129(4):469.e1-32.
27. Proffit WR, Fields Jr HW, Sarver DM. *Contemporary orthodontics*: Elsevier Health Sciences; 2014.
28. DiBiase AT, Nasr IH, Scott P, Cobourne MT. Duration of treatment and occlusal outcome using Damon3 self-ligated and conventional orthodontic bracket systems in extraction patients: A prospective randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011;139(2):e111-e6.
29. Fleming PS, DiBiase AT, Lee RT. Randomized clinical trial of orthodontic treatment efficiency with self-ligating and conventional fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;137(6):738-42.
30. Johansson K, Lundström F. Orthodontic treatment efficiency with self-ligating and conventional edgewise twin brackets: a prospective randomized clinical trial. *The Angle orthodontist*. 2012;82(5):929-34.
31. Krieger E, Seiferth J, Saric I, Jung BA, Wehrbein H. Accuracy of Invisalign(R) treatments in the anterior tooth region. First results. *Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopadie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft fur Kieferorthopadie*. 2011;72(2):141-9.
32. Krieger E, Seiferth J, Marinello I, Jung BA, Wriedt S, Jacobs C, et al. Invisalign(R) treatment in the anterior region: were the predicted tooth movements achieved? *Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopadie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft fur Kieferorthopadie*. 2012;73(5):365-76.
33. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2009;135(1):27-35.
34. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique - regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health*. 2014;14(1):68.
35. Sekhavat AR, Mousavizadeh K, Pakshir HR, Aslani FS. Effect of misoprostol, a prostaglandin E1 analog, on orthodontic tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2002;122(5):542-7.
36. Leiker BJ, Nanda RS, Currier GF, Howes RI, Sinha PK. The effects of exogenous prostaglandins on orthodontic tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1995;108(4):380-8.
37. Kale S, Kocadereli İ, Atilla P, Aşan 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.
38. 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.
39. Kobayashi Y, Takagi H, Sakai H, Hashimoto F, Mataka S, Kobayashi K, et al. Effects of local administration of osteocalcin on experimental tooth movement. *The Angle orthodontist*. 1998;68(3):259-66.
40. Hashimoto F, Kobayashi Y, Mataka S, Kobayashi K, Kato Y, Sakai H. Administration of osteocalcin accelerates orthodontic tooth movement induced by a closed coil spring in rats. *The European Journal of Orthodontics*. 2001;23(5):535-45.

41. Li F, Li G, Hu H, Liu R, Chen J, Zou S. Effect of parathyroid hormone on experimental tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(4):523-32.
42. Soma S, Matsumoto S, Higuchi Y, Takano-Yamamoto T, Yamashita K, Kurisu K, et al. Local and chronic application of PTH accelerates tooth movement in rats. *J Dent Res.* 2000;79(9):1717-24.
43. Ashcraft MB, Southard KA, Tolley EA. The effect of corticosteroid-induced osteoporosis on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;102(4):310-9.
44. Ong CKL, Walsh LJ, Harbrow D, Taverne AAR, Symons AL. Orthodontic Tooth Movement in the Prednisolone-Treated Rat. *The Angle orthodontist.* 2000;70(2):118-25.
45. Tuncay OC, Killiany DM. The effect of gingival fiberotomy on the rate of tooth movement. *Am J Orthod.* 1986;89(3):212-5.
46. Altug A. Dentoalveolar distraction osteogenesis for rapid orthodontic canine retraction. *J Oral Maxillofac Surg.* 2002;60(4):389-94.
47. Kisnisci RS, Iseri H. Dentoalveolar Transport Osteodistraction and Canine Distalization. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011;69(3):763-70.
48. Kharkar VR, Kotrashetti SM. Transport dentoalveolar distraction osteogenesis–assisted rapid orthodontic canine retraction. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology.* 2010;109(5):687-93.
49. Thierry M, Charrier J-B. Les corticotomies alvéolaires : principes et applications cliniques. *Int Orthod.* 2008;6(4):343-54.
50. Wilcko MT, Wilcko WM, Bissada NF. An Evidence-Based Analysis of Periodontally Accelerated Orthodontic and Osteogenic Techniques: A Synthesis of Scientific Perspectives. *Semin Orthod.* 2008;14(4):305-16.
51. Fischer T. Orthodontic treatment acceleration with corticotomy-assisted exposure of palatally impacted canines: a preliminary study. *The Angle orthodontist.* 2007;77(3):417-20.
52. Wilcko MT, Wilcko WM, Pulver JJ, Bissada NF, Bouquot JE. Accelerated Osteogenic Orthodontics Technique: A 1-Stage Surgically Facilitated Rapid Orthodontic Technique With Alveolar Augmentation. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009;67(10):2149-59.
53. Mittal S, Sharma R, Singla A. Piezocision assisted orthodontics: a new approach to accelerated orthodontic tooth movement. *J Innov Dent.* 2011;1.
54. Keser EI, Dibart S. Sequential piezocision: A novel approach to accelerated orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(6):879-89.
55. Alikhani M, Raptis M, Zoldan B, Sangsuwon C, Lee YB, Alyami B, et al. Effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(5):639-48.
56. Genc G, Kocadereli İ, Tasar F, Kilinc K, El S, Sarkarati B. Effect of low-level laser therapy (LLLT) on orthodontic tooth movement. *Lasers Med Sci.* 2013;28(1):41-7.
57. Youssef M, Ashkar S, Hamade E, Gutknecht N, Lampert F, Mir M. The effect of low-level laser therapy during orthodontic movement: a preliminary study. *Lasers Med Sci.* 2008;23(1):27-33.
58. Giancotti A, Di Girolamo R. Treatment of severe maxillary crowding using Invisalign and fixed appliances. *J Clin Orthod.* 2009;43(9):583-9.
59. Miles P, Smith H, Weyant R, Rinchuse DJ. The effects of a vibrational appliance on tooth movement and patient discomfort: a prospective randomised clinical trial. *Aust Orthod J.* 2012;28(2):213-8.
60. Pavlin D, Anthony R, Raj V, Gakunga PT. Cyclic loading (vibration) accelerates tooth movement in orthodontic patients: A double-blind, randomized controlled trial. *Semin Orthod.* 2015;21(3):187-94.
61. Garino F. The orthodontic 3D world: the basic role of the orthodontist. 2007.
62. Joffe L. Current Products and Practices OrthoCAD™: digital models for a digital era. *J Orthod.* 2004;31(4):344-7.

63. Naidu D, Freer TJ. Validity, reliability, and reproducibility of the iOC intraoral scanner: A comparison of tooth widths and Bolton ratios. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(2):304-10.
64. ORTH T. Accelerating Orthodontic Treatment with AcceleDent.
65. <http://acceleddent.com/what-it-is/>.
66. OrthoAccel Technologies Inc.
67. Djeu G, Shelton C, Maganzini A. Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005;128(3):292-8.
68. Bartzela T, Türp JC, Motschall E, Maltha JC. Medication effects on the rate of orthodontic tooth movement: A systematic literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(1):16-26.
69. http://acceleddent.com/wp-content/uploads/2015/08/Aura_DFU_CANADA_ENG_2015_4x6_V3_interactive.pdf.
70. Orton-Gibbs S, Kim N. Clinical experience with the use of pulsatile forces to accelerate treatment. *Journal of clinical orthodontics: JCO.* 2015;49(9):557-73.

10 Annexes

Annexe I



N° de certificat
14-071-CERES-D

Comité d'éthique de la recherche en santé

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche en santé (CERES), selon les procédures en vigueur, en vertu des documents qui lui ont été fournis, a examiné le projet de recherche suivant et conclu qu'il respecte les règles d'éthique énoncées dans la Politique sur la recherche avec des êtres humains de l'Université de Montréal.

Projet	
Titre du projet	Comparaison entre la simulation d'alignement du ClinCheck® et les modèles digitaux finaux des patients traités avec Invisalign® et avec ou sans l'appareil AcceleDent®
Étudiante requérante	Caroline Blais () Candidate à la M. Sc. en médecine dentaire, option orthodontie, Faculté de médecine dentaire
Sous la direction de	Andrée Montpetit, professeure adjointe, Faculté de médecine dentaire - Département de santé buccale, Université de Montréal
Financement	
Organisme	Fonds Paul-Geoffrion et Fonds de démarrage de Mme Andrée Montpetit
Programme	
Titre de l'octroi si différent	
Numéro d'octroi	
Chercheur principal	
No de compte	

MODALITÉS D'APPLICATION

Tout changement anticipé au protocole de recherche doit être communiqué au CERES qui en évaluera l'impact au chapitre de l'éthique.

Toute interruption prématurée du projet ou tout incident grave doit être immédiatement signalé au CERES

Selon les règles universitaires en vigueur, un suivi annuel est minimalement exigé pour maintenir la validité de la présente approbation éthique, et ce, jusqu'à la fin du projet. Le questionnaire de suivi est disponible sur la page web du CERES.

Dominique Langelier, présidente
Comité d'éthique de la recherche en santé
Université de Montréal

25 juin 2014
Date de délivrance

1er juillet 2015
Date de fin de validité

adresse postale
C.P. 6128, succ. Centre-ville
Montréal QC H3C 3J7

3744 Jean-Brillant
4e étage, bur. 430-11
Montréal QC H3T 1P1

Téléphone : 514-343-6111 poste 2604
ceres@umontreal.ca
www.ceres.umontreal.ca

Annexe II

Comité d'éthique de la recherche en santé

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE - 1er renouvellement -

Le Comité d'éthique de la recherche en santé (CERES), selon les procédures en vigueur et en vertu des documents relatifs au suivi qui lui a été fournis conclut qu'il respecte les règles d'éthique énoncées dans la Politique sur la recherche avec des êtres humains de l'Université de Montréal

Projet	
Titre du projet	Comparaison entre la simulation d'alignement du ClinCheck® et les modèles digitaux finaux des patients traités avec Invisalign® et avec ou sans l'appareil AcceleDent®
Étudiante requérante	Caroline Blais () Candidate à la M. Sc. en médecine dentaire, option orthodontie, Faculté de médecine dentaire
Sous la direction de	Andrée Montpetit, professeure adjointe, Faculté de médecine dentaire - Département de santé buccale, Université de Montréal

Financement	
Organisme	Fonds Paul-Geoffrion et Fonds de démarrage de Mme Andrée Montpetit
Programme	
Titre de l'octroi si différent	
Numéro d'octroi	
Chercheur principal	
No de compte	

MODALITÉS D'APPLICATION

Tout changement anticipé au protocole de recherche doit être communiqué au CERES qui en évaluera l'impact au chapitre de l'éthique. Toute interruption prématurée du projet ou tout incident grave doit être immédiatement signalé au CERES.

Selon les règles universitaires en vigueur, un suivi annuel est minimalement exigé pour maintenir la validité de la présente approbation éthique, et ce, jusqu'à la fin du projet. Le questionnaire de suivi est disponible sur la page web du CERES.


Guillaume Fares
Conseiller en éthique de la recherche.
Comité d'éthique de la recherche en santé
Université de Montréal

2 octobre 2015
Date de délivrance du
renouvellement ou de
la réémission*

1er novembre 2016
Date du prochain suivi

25 juin 2014
Date du certificat initial

1er novembre 2016
Date de fin de validité

*Le présent renouvellement est en continuité avec le précédent certificat

adresse postale
C.P. 6128, succ. Centre-ville
Montréal QC H3C 3J7

3744 Jean-Brillant
4e étage, bur. 430-11
Montréal QC H3T 1P1

Téléphone : 514-343-6111 poste 2604
ceres@umontreal.ca
www.ceres.umontreal.ca