

Université de Montréal

**Une évaluation de la dimension de la lumière de
boîtiers 0,018 " provenant de quatre différents
manufacturiers.**

Existe-t-il un standard dans l'industrie?

par

Dr Laurent A. Richard

Section d'orthodontie

Faculté de médecine dentaire, Université de Montréal

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales
en vue de l'obtention du grade de
Maîtrise en Science (M.Sc.)
en médecine dentaire,
option orthodontie

Avril 2013

© Laurent A. Richard, 2013

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

Une évaluation de la dimension de la lumière de boîtiers 0,018" provenant de quatre
différents manufacturiers. Existe-t-il un standard dans l'industrie?

présenté par :

Dr Laurent A. Richard

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Dr Jack Turkewicz, président-rapporteur

Dr Claude Remise, directeur de recherche

Dr Daniel Fortin, co-directeur de recherche

Dr Réjean Labrie, examinateur externe

Résumé

Introduction : Cette recherche a été une étude expérimentale conduite en laboratoire visant à évaluer la dimension verticale ainsi que la géométrie de la lumière de différents boîtiers auto-ligaturants populaires de grandeur 0,018". Par la suite, il a été possible de calculer mathématiquement la perte de torque engendrée par ces variations.

Matériel et méthode : Vingt-cinq boîtiers auto-ligaturants d'incisive centrale supérieure gauche de quatre différents fabricateurs, Speed® (Strite Industries, Cambridge, Ontario, Canada), InOvationR® (GAC, Bohemia, NY, USA), CarriereLX® (Ortho Organizers, Carlsbad, CA, USA) et SmartClip SL® (3M Unitek, Monrovia, CA, USA), ont été évalués en utilisant un microscope à balayage électronique à un grossissement de 150X. La hauteur de la lumière a été mesurée à tous les 100 microns de profondeur à cinq différents niveaux, permettant ainsi d'établir sa hauteur moyenne et d'évaluer le parallélisme de ses parois. Le test T de Student a été utilisé pour déterminer si ces valeurs étaient statistiquement significatives comparativement à la valeur de référence de 0,018". Un test de variance (ANOVA), avec un seuil de signification $p < 0,05$, a été utilisé pour comparer les boîtiers des différents fabricateurs entre eux. La perte de torque a, par la suite, été calculée théoriquement à l'aide de formules géométriques en fonction d'un fil donné.

Résultats : En moyenne, la lumière des boîtiers Speed était surdimensionnée de 2,7% [VM : 0,0185" (DS : 0,002)], InOvationR de 3,7% [VM 0,0187" (DS : 0,002)], CarriereLX de 3,2% [VM 0,0186" (DS : 0,002)] et SmartClip SL de 5,0% [VM 0,0189" (DS : 0,002)]. La hauteur moyenne des quatre types de boîtiers a démontré une différence statistiquement significative par rapport à la valeur de référence de 0,018" ($p < 0,001$). Il existe également une différence statistiquement significative entre la hauteur moyenne des boîtiers SmartClip et celle des trois autres fabricateurs ($p < 0,001$). Aucun des boîtiers étudiés n'avait les parois gingivales et occlusales parallèles, certaines étaient divergentes, d'autres convergentes. Ces variations peuvent engendrer cliniquement une perte de torque jusqu'à 4,5° avec un fil 0,017"x0,025" et jusqu'à 8,0° avec un fil 0,016"x0,022".

Conclusion : La lumière de tous les boîtiers étudiés était légèrement surdimensionnée. La géométrie de la lumière variait d'un fabricant à l'autre, certains boîtiers étaient convergents et d'autres divergents. Ces variations causées par les méthodes de fabrication engendrent une perte de torque supplémentaire par rapport à la valeur nominale.

Mots-clés : boîtiers, lumière, auto-ligaturant, dimension, Speed, SmartClip, InOvationR, CarriereLX.

Abstract

Introduction: The objective of this experimental research was to evaluate the slot's vertical dimension and profile of four different 0.018" self-ligating brackets and to identify the level of tolerance accepted by manufacturers during the fabrication process. It was then possible to calculate and compare the torque play of those brackets using the measured values and the nominal values.

Material and Methods: Twenty-five 0.018" self-ligating brackets of upper left central incisors from the following manufacturers, Speed® (Strite Industries, Cambridge, Ontario, Canada), InOvationR® (GAC, Bohemia, NY, USA), CarriereLX® (Ortho Organizers, Carlsbad, CA, USA) and SmartClip® (3M Unitek, Monrovia, CA, USA), were evaluated using electron microscopy with 150X images. The height of each bracket was measured at every 100 microns of depth from the lingual wall at five different levels. A Student T test was then used to compare our results with the manufacturer's stated value of 0.018". To determine if there was a significant difference between the four manufacturers, analysis of variance (ANOVA) was performed at the significance level of $p < 0.05$. The torque play was then calculated using geometrical formulas.

Results: On average, Speed brackets were oversized by 2.7% [MV 0.0185" (SD:0.002)], InOvationR by 3.7% [MV 0.0187" (SD:0.002)], CarriereLX by 3.2% [MV 0.0186" (SD:0.002)] and SmartClipSL by 5.0% [MV 0.0189" (SD:0.002)]. The height of all brackets was significantly higher than the nominal value of 0.018" ($p < 0.001$). The slot of SmartClip brackets was significantly larger than those of the other three manufacturers ($p < 0.001$). None of the brackets studied had parallel gingival and occlusal walls; some were convergent and others divergent. These variations can induce a torque play up to 4.5° with a 0.017"x0.025" wire and 8.0° with a 0.016"x0.022" wire.

Conclusion: All studied brackets were oversized. None of the brackets studied had parallel gingival and occlusal walls and there was no standard between manufacturers for the geometry of their slots. These variations can cause a slight increase of the torque play between the wire and the bracket compared with the nominal value.

Keywords: Self-ligating, brackets, slot, size, Speed, SmartClip, InOvationR, CarriereLX.

Table des matières

Chapitre 1. Introduction	1
Chapitre 2. Recension des écrits	3
2.1. Développement des boîtiers orthodontiques	3
2.1.1. Historique.....	3
2.1.2. Développement de la technique à fil droit	5
2.1.3. Méthode et matériel de fabrication des boîtiers modernes	9
2.1.4. Méthode de ligature des boîtiers	11
2.2. Biomécanique des mouvements dentaires	13
2.2.1. Systèmes de forces et mouvements dentaires	13
2.2.2. Expression du torque en fonction de la dimension du fil et de la lumière du boîtier	16
2.2.3. Lumière 0,022" versus 0,018"	18
2.3. Niveau de tolérance industriel lors de la fabrication des boîtiers orthodontiques	20
2.3.1. Méthodes de mesure	20
2.3.2. Résultats obtenus avec les boîtiers 0,018"	22
2.3.3. Résultats obtenus avec les boîtiers 0,022"	25
Chapitre 3. Objectifs du projet de recherche	27
Chapitre 4. Article.....	29
4.1. Résumé.....	30
4.2. Abstract.....	31
4.3. Introduction.....	32
4.4. Matériel et méthode	34
4.5. Résultats	36
4.6. Discussion	43
4.7. Conclusion	47
4.8. Remerciements.....	47

5. Discussion	48
5.1. Intérêt clinique	48
5.2. Limitations de l'étude	49
5.3. Avenues de recherche	50
6. Conclusion	51
Bibliographie.....	52

Liste des tableaux et graphiques

Tableau 1 : Différentes prescriptions de boîtiers préconisées par divers auteurs.....	8
Tableau 2 : Avantages et inconvénients des boîtiers 0,018" et 0,022"	19
Tableau 3 : Résultats des recherches ayant étudié les boîtiers 0,018"	24
Tableau 4 : Résultats des recherches ayant étudié les boîtiers 0,022"	26
Tableau 5 : Hauteur moyenne en fonction de la profondeur de la mesure en microns.....	37
Graphique 1 : Hauteur moyenne de la lumière de 25 boîtiers de quatre différents manufacturiers comparativement à la valeur nominale de 457 microns.....	38
Graphique 2 : Évaluation statistique du profil de la lumière.....	39
Tableau 6 : Comparaison du « torque play » en fonction du manufacturier et de la hauteur de la lumière.....	45

Liste des figures

Figure 1 : « Ribbon Arch » versus « Edgewise ».....	4
Figure 2 : Plan d'Andrews.....	6
Figure 3 : Angle entre la surface buccale de la couronne et l'axe de la lumière.....	7
Figure 4 : Angle entre la surface buccale de la couronne et la racine.....	7
Figure 5 : « Torque in the face » versus « torque in the base ».....	11
Figure 6 : Biomécanique d'un fil rectangulaire dans la lumière du boîtier.....	15
Figure 7 : Calcul de l'angle de perte de torque	17
Figure 8 : Calcul de l'angle de perte de torque en prenant en compte l'arrondissement des coins du fil.....	17
Figure 9 : Image du profil d'un boîtier prise à l'aide d'un microscope électronique.....	21
Figure 10 : Jauge à feuille.....	21
Figure 11 : Équation géométrique pour le calcul de la perte de torque.....	36
Figure 12 : Image d'un boîtier SmartClip à un grossissement de 150X.....	39
Figure 13 : Image d'un boîtier CarriereLX à un grossissement de 150X.....	40
Figure 14 : Image d'un boîtier InOvationR à un grossissement de 150X	41
Figure 15 : Image d'un boîtier Speed à un grossissement de 150X.....	42

*À ma femme ;
qui m'a supporté depuis les dix dernières années, à la maison comme dans ma carrière;*

*À ma fille ;
qui est ma plus grande richesse;*

*À mes collègues et amis;
qui m'ont guidé et encouragé durant ces trois dernières années de spécialité.*

Remerciements

En premier lieu, je voudrais remercier particulièrement mon directeur de recherche et de programme Dr Claude Remise pour m'avoir guidé aussi bien dans mon projet de maîtrise que tout au long de ma formation en orthodontie. Sans lui, tout ceci n'aurait pas été possible.

Je remercie Dr Daniel Fortin pour son assistance, ses encouragements et ses conseils dans l'élaboration et la rédaction de mon projet de maîtrise. Son expérience en recherche a été d'un grand support.

Je remercie également Dr Réjean Labrie et Dr Jack Turkewicz pour avoir accepté de faire partie de mon jury d'examen pour ce mémoire de maîtrise et d'avoir pris de leur temps pour lire et corriger ce projet. Je les remercie également pour tout l'enseignement clinique qu'ils m'ont donné au cours des trois dernières années.

J'aimerais remercier toute l'équipe du Dr Nanci, et plus particulièrement Mme Sylvia Francis Zalzal et Dre Rima Wazen pour leur aide et leurs directives dans l'utilisation du microscope électronique lors de mes expérimentations.

Je remercie également Dre Nelly Huynh pour ses conseils dans la rédaction de ma maîtrise et pour son important rôle dans la promotion de la recherche chez l'ensemble des résidents de la section d'orthodontie.

En terminant, je remercie M. Pierre Rompré pour son aide au niveau de l'analyse des données et de l'établissement des résultats statistiques.

Chapitre 1. Introduction

Lors de tout traitement orthodontique, l'intention du praticien est d'obtenir un résultat final correspondant aux normes fonctionnelles et esthétiques acceptées dans la littérature. Un bon contrôle de l'inclinaison bucco-linguale des incisives, aussi appelée "torque", est un des facteurs nécessaires pour atteindre ce but. Pour arriver à ses fins, l'orthodontiste se doit d'utiliser différents types d'appareillages afin d'effectuer les mouvements dentaires désirés.

En orthodontie moderne, les appareils le plus souvent utilisés sont les « broches ». Ce système comporte deux composantes majeures : les boîtiers collés aux dents et les fils reliant ensemble chacun de ces boîtiers. Tout mouvement dentaire est engendré par la force exercée par les fils au niveau des boîtiers orthodontiques. Les boîtiers sont donc le moyen grâce auquel la force appliquée par le fil est transférée à la dent. La lumière étant le sillon à l'intérieur du boîtier dans lequel le fil s'insère, deux facteurs sont déterminants dans le contrôle des mouvements effectués : la dimension de la lumière et la dimension du fil. Plus il y a de jeu entre le fil et la lumière, moins grand est le contrôle de l'orthodontiste sur la position finale des dents puisque le fil est libre de se déplacer à l'intérieur de celle-ci. Pour un contrôle optimal, une adaptation parfaite entre le fil de finition et le boîtier serait théoriquement idéale pour exprimer complètement les mouvements désirés. On sait cependant que cela est impossible, car une telle adaptation engendrerait un niveau de friction tel que le praticien serait incapable d'insérer ou de retirer le fil du boîtier. C'est donc pourquoi, de façon générale, les manufacturiers surdimensionnent volontairement la lumière des boîtiers et sous-dimensionnent les valeurs de la coupe transversale des fils pour diminuer la friction entre ces deux composantes[1]. Cette différence entre les dimensions citées (valeurs nominales) et les dimensions réelles n'est souvent pas mentionnée par les manufacturiers. Ceci engendre donc un jeu entre le fil et le boîtier que le praticien ne peut évaluer de façon précise.

Le but de ce mémoire est donc d'évaluer à quel point les manufacturiers surdimensionnent la lumière de leurs boîtiers 0,018" auto-ligaturants modernes. Nous

pourrons ensuite définir de façon précise le profil de la lumière de différents boîtiers à l'aide d'un microscope électronique. Ceci nous permettra de déterminer si les différents manufacturiers étudiés utilisent les mêmes standards de fabrication. Par la suite, nous pourrons calculer théoriquement la quantité de jeu entre un fil donné et la lumière de chacun de ces boîtiers pour essayer de déterminer si les niveaux de tolérance des manufacturiers ont un impact clinique significatif pour le praticien au niveau du contrôle du torque.

Chapitre 2. Recension des écrits

2.1. Développement des boîtiers orthodontiques

2.1.1. Historique

Edward Angle est considéré par plusieurs comme le père de l'orthodontie moderne. Les appareillages fixes modernes utilisés aujourd'hui sont des dérivés du design d'Angle développé au début du 20^e siècle. Le premier appareil utilisé par Angle fut le « E-Arch ». Cet appareil de la fin du 19^e siècle était constitué d'une structure métallique rigide fixée sur des bagues au niveau des molaires; les dents étaient individuellement ligaturées à ce « E-Arch »[2]. Celles-ci s'alignaient par expansion d'arcade en se rapprochant progressivement de l'arche métallique qui était localisée au labial des dents. L'inconvénient de cet appareil était qu'il ne pouvait que basculer les dents dans leur nouvelle position et qu'aucun contrôle du torque n'était possible. Pour contourner ce problème, Angle commença à placer des bagues sur plusieurs dents et à souder sur le fil des tiges métalliques verticales qui s'inséraient dans chacune des bagues. Ces tiges permettaient le contrôle des mouvements dentaires, mais nécessitaient une habileté très élevée de la part du praticien.

Par la suite, Angle développa un appareil utilisant un fil rectangulaire engagé dans la lumière des boîtiers situés sur chacune des dents. Un fil d'or, dont la coupe transversale était de 0,010" de large par 0,020" de haut, reliait chacune des bagues entre elles et était fixé à l'aide de tiges verticales. Cette configuration du fil est appelée « ribbon arch ». L'or avait comme principaux avantages de résister à la corrosion et de pouvoir être traité à la chaleur pour en modifier la rigidité[3]. Cette technique connut un certain succès, mais ne permettait pas un bon contrôle des racines dans le 3^e ordre, défini comme étant la position bucco-linguale de ces dernières, car la résilience du fil ne réussissait tout simplement pas de générer un moment suffisant pour « torquer » la racine en bonne position[4]. Plus tard, dans les années 1930, Raymond Begg, un orthodontiste australien et ancien disciple d'Angle, améliora cette technique en y apportant trois modifications majeures lui permettant de

corriger les faiblesses de ce système. Premièrement, il remplaça le fil en or par un fil en acier inoxydable plus résistant. Deuxièmement, il plaça la lumière des boîtiers gingivalemement au lieu d'occlusalement. Finalement, il développa un système de ressorts auxiliaires permettant de contrôler la position des racines[5]. L'appareil de Begg connut du succès dans les années 1960 et 1970, mais est aujourd'hui marginal.

Afin de corriger les faiblesses du « ribbon arch », Angle développa en 1928, soit deux ans avant sa mort, la technique « edgewise » qui est aujourd'hui la technique la plus utilisée[6]. Il tourna d'abord le fil rectangulaire à 90 degrés de telle façon que sa base soit plus large que sa hauteur, changeant ainsi les propriétés physiques du système (Fig. 1). Il changea par la suite la forme de ses boîtiers pour que la lumière soit située au centre de ces derniers et soit maintenant horizontale. Cette lumière était composée de trois parois et avait une dimension de 0,022" par 0,028", dimension qui est encore utilisée de nos jours. Le fil était par la suite maintenu en place par des ligatures de cuivre ou d'acier inoxydable. Cependant, Angle n'eut pas le temps de développer suffisamment cette technique avant sa mort. Ce fut donc un de ses élèves, Charles H. Tweed, qui adopta la première pratique orthodontique entièrement dédiée à la technique « edgewise ». Dans les années 1930, il fit paraître une série d'articles dans le journal *Angle Orthodontist* décrivant les mérites de cette technique[7-9]. En 1960, Tweed demanda à son tour l'aide d'un de ses étudiants, Levern Merrifield, pour continuer le développement de la technique « edgewise ». Cette technique est aujourd'hui connue sous le nom de technique Tweed-Merrifield.[10]

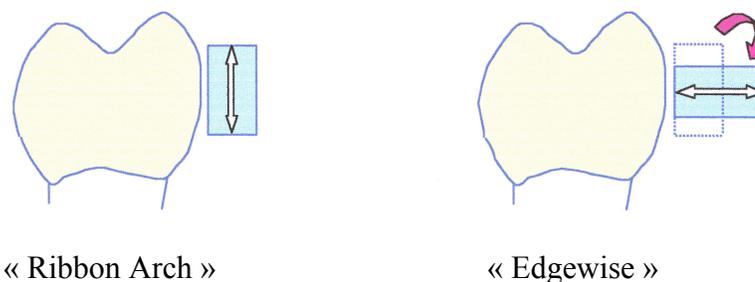


Fig. 1: « Ribbon Arch » versus « Edgewise »[11]

2.1.2. Développement de la technique à fil droit

Pour bien comprendre l'importance de ce projet de recherche, il faut connaître les grands principes derrière la technique du « straight wire » développée par Andrews[12, 13]. Selon la technique « edgewise » traditionnelle, les boîtiers utilisés sur chacune des dents avaient le même design. Il n'y avait aucune différence au niveau de leur épaisseur bucco-linguale (in and out), de leur rotation (offset), ainsi que de leur inclinaison mésio-distale (tip) et bucco-linguale (torque). L'orthodontiste devait alors faire de nombreux plis dans le fil de finition afin de corriger les problèmes de rotation et d'inclinaison de racines causés par la différence d'anatomie de chacune des dents. Le développement de la technique « straight wire » au début des années 1970 fut une véritable révolution dans le développement de l'orthodontie. Seulement 15 ans après son introduction, déjà 82% des jeunes orthodontistes ayant gradué entre 1976 et 1986 aux États-Unis utilisaient cette technique dans leurs cabinets[14].

Pour développer cette technique, Andrews étudia les modèles de 120 patients avec une occlusion jugée idéale, et ce, sans avoir reçu de traitement orthodontique. Il développa par la suite ses six clés de l'occlusion qui sont aujourd'hui un guide pour tous les orthodontistes désirant obtenir un résultat optimal[15]. Ayant étudié la position idéale de chacune des dents, il prit par la suite une série de mesures qui allaient lui permettre de développer un nouveau genre de boîtier. Il eut l'idée d'inclure dans chacun des boîtiers une prescription propre à chaque dent. La base de chacun des boîtiers allait donc avoir une épaisseur et une inclinaison tenant compte de l'anatomie et de l'inclinaison finale de chaque dent[12, 13]. Par exemple, un boîtier de latérale supérieure allait avoir une base plus épaisse qu'un boîtier de centrale supérieure dans le but de compenser la différence d'épaisseur entre les deux dents. Au niveau des mouvements de racines dans les 2^e et 3^e ordres, le 2^e ordre étant la position mésio-distale des racines, Andrews eut l'idée d'incorporer une prescription de « tip » et de torque dans chacun des boîtiers. La lumière du

boîtier allait donc avoir une inclinaison différente par rapport à la base du boîtier, et ce, dans les deux axes pour chaque dent (Fig. 2)[16] .

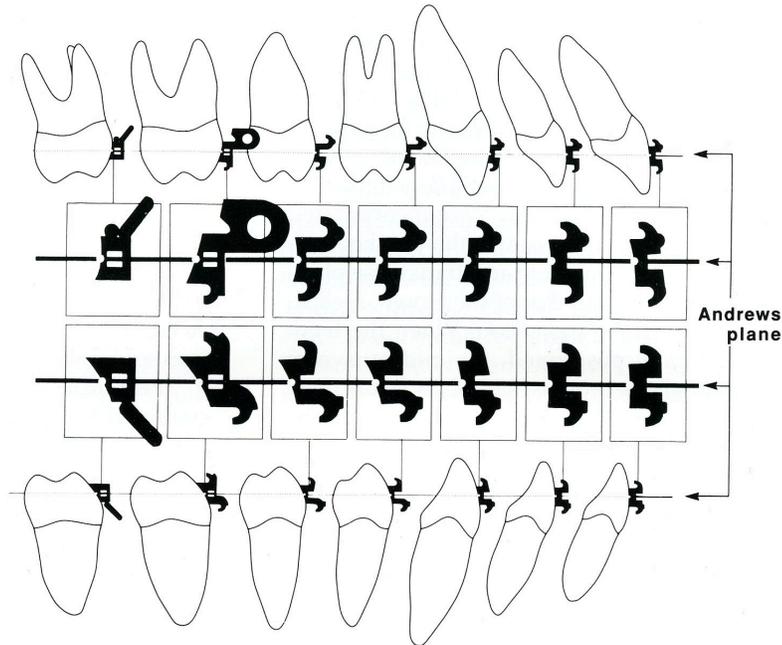


Fig. 2: Dans les boîtiers programmés utilisés avec la méthode à fil droit, une valeur de torque est incorporée dans le boîtier pour chacune des dents afin d'obtenir une bonne inclinaison bucco-linguale des racines tout en ayant un parallélisme des lumières l'une par rapport à l'autre[16].

Il a alors été établi que la mesure de la prescription du boîtier, au niveau du torque, était la mesure de l'angle entre l'axe de la lumière et une ligne perpendiculaire (plan orthogonal) à la tangente de la surface buccale de la couronne (Fig. 3). Par contre, pour avoir une bonne inclinaison de la racine, le boîtier devait être placé à la bonne hauteur sur la couronne, car cela influence l'inclinaison du boîtier dans le 3^e ordre en fonction de la convexité de la surface buccale de la dent. Dans la conception du système « straight wire » original, Andrews a établi « le plan d'Andrews » qui est un plan horizontal coupant la couronne de toutes les dents en leur centre et établissant la hauteur à laquelle chacun des boîtiers doit être posé (Fig. 2).

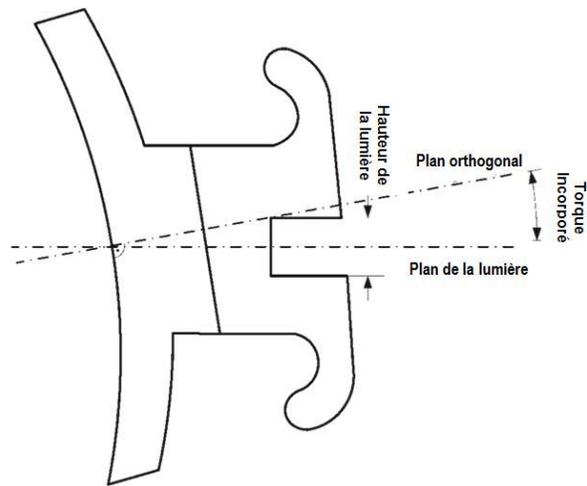


Fig. 3: Angle entre la surface buccale de la couronne et l'axe de la lumière[17].

La valeur de la prescription du boîtier ne représente cependant pas l'inclinaison bucco-linguale de la racine. Pour connaître la position exacte de la racine de la dent, il faut tenir compte de son anatomie et prendre en considération la différence entre l'inclinaison de la surface buccale de la couronne et l'axe long de la dent. Cette valeur est différente pour chaque dent (Fig. 4).

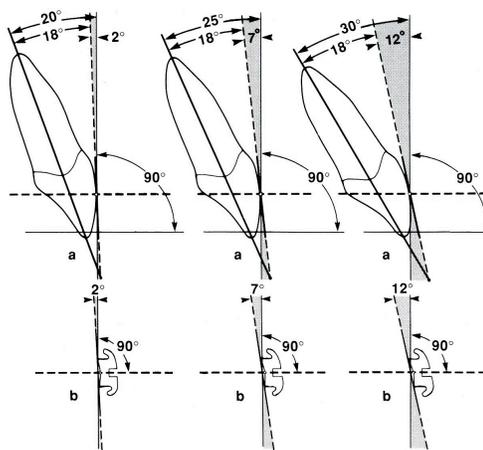


Fig. 4 : En moyenne, il existe un angle de 18° entre la surface buccale d'une centrale supérieure et l'axe long de cette dent. Il faut ajouter à cet angle la valeur de la prescription du boîtier, dans ce cas-ci 2° , 7° et 12° , pour connaître la position finale de la racine dans le 3^e ordre par rapport au plan horizontal[16].

Il faut donc comprendre qu'avec la technique « straight wire », en théorie, si tous les boîtiers sont bien positionnés, que toutes les dents ont une anatomie normale et que le fil de finition s'adapte parfaitement dans chacune des lumières des différents boîtiers, nous devrions obtenir une occlusion idéale en fin de traitement. Cela permet donc d'éliminer de nombreux plis de finition comparativement à la technique « edgewise » traditionnelle. Par contre, plus un jeu existe entre le fil et la lumière des différents boîtiers, moins la prescription de ces derniers sera exprimée et moins le résultat obtenu représentera le résultat désiré. De là l'importance des standards de fabrication des boîtiers et des fils.

Il existe aujourd'hui une variété de prescriptions développées par différents auteurs (Tableau 1)[18-20]. Les différences entre ces prescriptions se situent souvent au niveau du torque de certaines dents et représentent des préférences personnelles quant à la philosophie de traitement et au résultat final désiré. Par contre, certaines de ces prescriptions, par exemple les boîtiers « high torque » de 17° au niveau des incisives supérieures et de -6° au niveau des incisives inférieures préconisés par McLaughlin dans sa technique MBT[19], sont augmentées volontairement pour compenser la perte de torque engendrée par le jeu entre le fil et le boîtier lors de l'utilisation de fils de finition plus petits que la dimension de la lumière. L'opérateur prévoit donc d'avance qu'une perte de torque surviendra lors du traitement surtout s'il y a rétraction des incisives supérieures et protraction des incisives inférieures.

Tableau 1: Exemples de différentes prescriptions de boîtiers préconisées par divers auteurs.

	Prescription de torque (degrés)			
	Andrews	Roth	Alexander	MBT
Maxillaire				
Centrales	7	12	14	17
Latérales	3	8	8	10
Canines	-7	-2	-3	-7
Mandibule				
Incisives	-1	-1	-5	-6
Canines	-11	-11	-7	-6

2.1.3. Méthode et matériel de fabrication des boîtiers modernes

Originellement, les boîtiers étaient soudés à des bagues qui étaient par la suite cimentées à chacune des dents. Avec le développement du mordantage dans les années 1950[21] et des adhésifs modernes par la suite, les bagues ont été progressivement délaissées dans les années 1970 et les manufacturiers ont développé des bases de boîtiers assez performantes pour permettre une bonne adhésion à l'émail.

Les boîtiers en acier inoxydable sont utilisés depuis des décennies, et ce, avec un succès clinique élevé. L'utilisation d'une base poreuse, communément appelée « mesh pad », permet une bonne adhésion mécanique avec la résine composite[22]. De plus, l'acier inoxydable confère au boîtier la résistance nécessaire pour réduire le risque de déformation du boîtier lors de sa manipulation et lorsque des forces sont exercées au niveau de sa lumière. L'acier inoxydable AISI (American Iron and Steel Institute) de type 316L est très utilisé dans la fabrication des boîtiers orthodontiques. Cet alliage contient 16 à 18% de chrome, 10 à 14% de nickel, 2 à 3% de molybdène, 2% de manganèse et un maximum de 0,03% de carbone; le reste est constitué de fer [23]. Le chrome forme une mince couche d'oxyde à la surface de l'alliage, prévenant ainsi sa corrosion en empêchant l'oxygène de réagir avec celui-ci. De ce fait, une concentration minimale de 12 à 13% de chrome est nécessaire pour prévenir la corrosion de l'acier. Le « L » dans 316L signifie que l'alliage est composé d'une teneur plus faible en carbone que le type 316 qui en contient 0,08%. De plus, l'alliage 316L contient plus de nickel, moins de chrome et moins de carbone que l'acier inoxydable 302 et 304 utilisé dans la fabrication de fils orthodontiques[23]. Malgré son succès clinique, l'alliage 316L peut démontrer un certain niveau de corrosion, notamment identifiable par une coloration de la résine sous le boîtier. L'acier 316L a également comme désavantage sa teneur en nickel qui peut être une source d'allergie chez certains patients[24, 25]. Par conséquent, le titane et l'acier 2205 (contenant la moitié de la teneur en nickel du 316L) représentent deux alternatives pour les patients démontrant une réaction au nickel[26].

Avec l'augmentation du nombre de patients adultes recevant des traitements orthodontiques, une demande s'est créée pour la production de boîtiers moins visibles et plus esthétiques. Des boîtiers fabriqués en composite et en porcelaine ont alors été développés. Les premiers boîtiers de plastique à base de polycarbonate développés dans les années 1970 avaient comme désavantage de ne pas résister aux forces exercées par le fil lorsque des mouvements de 3^e ordre étaient requis[23, 27]. Bien que les lumières de ces boîtiers aient été renforcées de métal pour corriger ce problème, davantage de recherches sont encore aujourd'hui nécessaires afin d'évaluer adéquatement le niveau de déformation de ces boîtiers. De leur côté, les boîtiers de céramiques développés dans les années 1980 sont fabriqués en majeure partie d'oxyde d'aluminium (alumina)[28]. Ces derniers sont disponibles sous formes polycristalline et monocristalline et ont l'avantage d'être plus esthétiques que les boîtiers en composite. Les boîtiers en alumina sont d'abord cuits dans des moules et la lumière est par la suite taillée avec une fraise diamantée. Les boîtiers sont alors cuits à nouveau pour relâcher les stress et corriger les imperfections de surface causées par la taille de la lumière. Plus récemment, des boîtiers en oxyde de zirconium (zircona) ont été développés, mais leur couleur jaunâtre représente un désavantage majeur pour l'esthétisme durant le traitement[23]. Les fractures d'émail lors de la dépose du boîtier, la friction élevée entre le boîtier et les fils orthodontiques, l'attrition des dents antagonistes faisant occlusion sur les boîtiers, ainsi que la fracture du boîtier en cours de traitement, sont les désavantages majeurs des boîtiers orthodontiques en céramique[28]. Pour ces raisons, les boîtiers métalliques ont encore une place importante sur le marché.

En ce qui a trait à la fabrication des boîtiers métalliques, il existe deux méthodes pour obtenir la forme désirée. La méthode traditionnelle consiste à machiner les boîtiers en les formant mécaniquement et en les taillant à l'aide de mèches. La partie contenant les ailettes et la lumière est ensuite soudée à la base du boîtier par brasage traditionnel avec différents alliages ou par soudure au laser[29]. La deuxième méthode consiste à injecter le métal en fusion dans un moule spécifique à chaque boîtier. Cette approche, de plus en plus

utilisée, permet l'obtention d'un boîtier en un morceau, éliminant ainsi le risque de séparation des composantes durant le traitement orthodontique.

Finalement, lors de la fabrication des boîtiers, certains manufacturiers incorporent la prescription de torque dans la base du boîtier (« torque in the base ») selon les principes du « straight wire appliance » d'Andrews. InOvationR, SmartClip et CarriereLX en sont des exemples[16]. D'autres, tel Strite et ses boîtiers Speed, incorporent le torque lors de la taille de la lumière (« torque in the face »). Cette différence de conception est importante. En effet, elle influencera le positionnement occluso-gingival du boîtier sur la dent par l'opérateur, puisque la base de la lumière des boîtiers « torque in the face » n'est pas centrée sur la base du boîtier (Fig. 5).

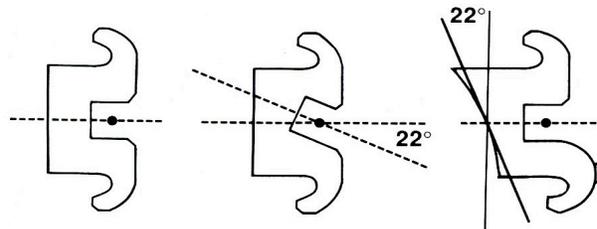


Fig. 5: De gauche à droite : un boîtier non programmé, un boîtier avec « torque in the face », un boîtier avec « torque in the base »[16].

2.1.4. Méthode de ligature des boîtiers

Il existe deux types de boîtiers lorsqu'on fait référence à la méthode de ligature : les boîtiers conventionnels et les boîtiers auto-ligaturants. Plusieurs recherches ont démontré que la méthode de ligature avait une influence sur l'expression du torque, puisque certaines de ces méthodes engagent de façon moins efficace le fil dans le fond de la lumière[30-32]. Dans un boîtier conventionnel, la lumière est composée de trois surfaces et le fil y est maintenu en place par une ligature métallique ou élastomérique. Les ligatures métalliques ont l'avantage d'être robustes et peu dispendieuses. Le praticien peut également choisir à quel point il veut pousser le fil dans le boîtier en serrant ou non la ligature. Cependant, cette

technique prend plus de temps à la chaise de la part du praticien pour ligaturer tous les boîtiers[33]. Pour remédier à ce problème, des ligatures élastomériques sont apparues sur le marché. Celles-ci ont l'avantage d'être plus rapide à installer. Par contre, elles peuvent se défaire plus facilement et elles ont également tendance à se dégrader rapidement dans l'environnement buccal, et ce, jusqu'à 50% dans les premières 24 heures. Il en résulte une moins bonne insertion et une moins bonne adaptation du fil dans la lumière[34]. Un autre inconvénient majeur des ligatures élastomériques est qu'elles créent un niveau de friction beaucoup plus élevé entre le fil et le boîtier comparativement aux ligatures métalliques, nuisant ainsi aux mouvements dentaires. Finalement, ce type de ligature favorise l'accumulation de plaque rendant l'hygiène du patient plus difficile[35].

Contrairement aux boîtiers conventionnels, les boîtiers auto-ligaturants n'ont pas besoin de ligatures métalliques ou élastomériques pour attacher le fil au boîtier. Ils ont un mécanisme construit à même le boîtier et composé d'une porte ou de crochets s'ouvrant pour permettre l'insertion du fil et se refermant pour l'empêcher de se déloger. Les premiers boîtiers auto-ligaturants furent développés au début des années 1930. J.W. Ford développa un boîtier auto-ligaturant passif en 1933, tandis que Russel développa son « Russel Lock » en 1935, tel que décrit par Stolzenberg dans son article[36]. Le développement des boîtiers auto-ligaturants modernes a permis de surmonter plusieurs désavantages des boîtiers conventionnels. La rapidité avec laquelle l'opérateur peut enlever et réinstaller un fil orthodontique est le principal avantage[33]. La réduction de la friction entre le fil et le boîtier[37-40] ainsi qu'une diminution de l'accumulation de plaque sont d'autres avantages de ce système[35]. Les boîtiers auto-ligaturants ont gagné en popularité dans les derniers trente ans et un nombre impressionnant de nouveaux produits sont apparus sur le marché; Harradine a publié une revue des dernières innovations à ce sujet dans son article paru en 2003[41].

Finalement, deux subdivisions existent au niveau des boîtiers auto-ligaturants : les boîtiers actifs et les boîtiers passifs. Un boîtier actif est un boîtier dont le mécanisme de

fermeture exerce une pression constante sur le fil afin d'appuyer ce dernier dans le fond de la lumière. Les boîtiers Speed et InOvationR en sont des exemples. À l'inverse, le mécanisme de fermeture des boîtiers passifs n'exerce pas de pression constante sur le fil; il crée une paroi buccale à la lumière sans en diminuer la profondeur bucco-linguale. Les boîtiers SmartClip et CarrièreLX en sont des exemples.

2.2. Biomécanique des mouvements dentaires

2.2.1. Systèmes de forces et mouvements dentaires

Pour réussir à produire un mouvement dentaire désiré et prévisible, il faut appliquer un système de forces adéquat. C'est le clinicien qui est le grand responsable du design et de l'activation de ses appareils. En effet, c'est ce dernier qui contrôle les forces et les moments qui sont appliqués sur chaque dent, et donc le rapport entre ces deux valeurs communément appelé « moment/force ratio ». C'est la maîtrise de ce rapport qui permet de contrôler la position du centre de rotation du mouvement et, par le fait même, le type de mouvement accompli[11].

Avant de discuter plus en profondeur des mouvements de racines, voici quelques définitions de base :

Force : Charge appliquée à un objet tentant de déplacer ce dernier dans une position différente dans l'espace. On la mesure souvent en grammes alors qu'elle devrait logiquement être exprimée en newtons[4].

Centre de résistance : Le point sur un corps où, si une force y est exercée, aucun moment ne sera créé et une translation pure surviendra. Pour un objet placé dans le vide, le centre de résistance correspond au centre de masse. Par contre sur terre, tout objet est sujet à un ensemble de contraintes. Dans le cas d'une dent par exemple, le

parodonte exercera des contraintes sur la dent, influençant la position de son centre de résistance[4, 11].

Moment de la force : C'est l'expression chiffrée de la tendance rotatoire d'un corps autour de son centre de résistance donnée par l'application d'une force sur ce dernier, cette force ne passant pas par le centre de résistance. Le moment est mesuré en multipliant la force appliquée sur le corps par la distance perpendiculaire entre le point d'application de la force et le centre de résistance. On le mesure en grammes.millimètres[4, 11].

Centre de rotation : Point autour duquel se fait le mouvement d'un corps, d'une dent ou d'un groupe de dents. La position du centre de rotation est déterminée par le « moment to force ratio »[4, 11].

Lorsqu'une dent est déplacée par l'application d'une simple force au niveau du boîtier, il en résulte un mouvement de bascule non contrôlée puisque la force n'est pas appliquée au niveau du centre de résistance de la dent. La dent se déplacera et un moment sera créé autour du centre de résistance de la dent. C'est ce qui arrive lorsque l'on « buccale » une dent à l'aide d'un appareil amovible et d'un ressort hélicoïdal. Si le praticien désire appliquer un moment contraire à celui créé par la force pour contrecarrer ce mouvement de bascule non contrôlée, il a besoin d'un minimum de deux points d'application de la force au niveau du boîtier. Si l'on utilise un fil rond dans une lumière rectangulaire, un seul point d'application de force existe, donc aucun contrôle du torque ne sera possible sauf si des ressorts auxiliaires sont utilisés. Avec l'utilisation d'un fil rectangulaire dans une lumière également rectangulaire, il est possible d'obtenir deux points d'application. Avec cette technique, les deux points de contact sont situés au niveau des angles opposés du fil rectangulaire. Le bras de levier entre ces deux points étant très court, une grande force doit être appliquée au niveau du boîtier pour créer un moment (Fig. 6).

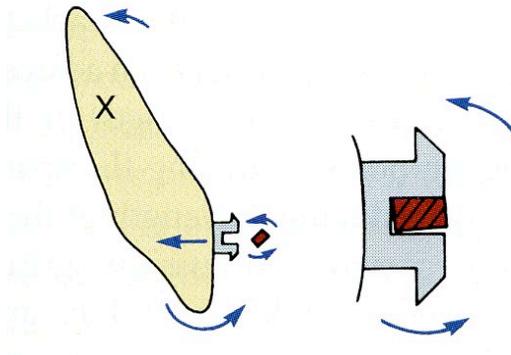


Fig. 6: Un fil rectangulaire inséré dans une lumière rectangulaire peut générer un couple au niveau du boîtier qui générera un moment au niveau de la dent. Les deux points de contact sont les coins du fils faisant contact avec les parois de la lumière[4].

Il y a donc deux moments agissant sur la dent. Le premier est créé par la force appliquée sur la dent. Le deuxième, souvent dans le sens opposé, est créé par le couple au niveau du boîtier. L'équilibre entre ces deux moments modifie le type de mouvement de la dent et son centre de rotation[4, 10, 11].

Il existe quatre types de mouvements dentaires. Le premier est la bascule non contrôlée. Comme mentionné précédemment, dans ce type de mouvement, le centre de rotation est localisé près du centre de résistance et le « moment to force ratio » est de 0/1. Le deuxième type de mouvement est la bascule contrôlée avec le centre de rotation situé proche de l'apex de la dent et un « moment to force ratio » de 5/1. Un mouvement de translation nécessitera un « moment to force ratio » de 10/1 et transportera le centre de rotation à \pm l'infini puisqu'aucune rotation n'aura lieu. Finalement, un ratio de 12/1 est nécessaire pour réaliser des mouvements de racine ou de torque[42]. Les chiffres donnés ci-dessus sont approximatifs puisqu'ils dépendent de plusieurs facteurs tels : la forme et la longueur de la racine, la forme et la grosseur de la couronne ainsi que du niveau de l'os alvéolaire autour de la racine.

En résumé, pour la plupart des dents avec un parodonte sain et une longueur de racine normale, la distance entre le point d'application de la force (lumière du boîtier) et le centre de résistance de la dent est de 8 à 10mm. Le moment de la force est donc le produit de la force multipliée par 8 ou 10mm. Donc, pour une force de 100g appliquée au niveau du boîtier pour déplacer une dent, un moment de 800 à 1000g.mm sera automatiquement créé. Si l'on veut effectuer une translation, un couple de 800 à 1000g.mm devra être appliqué au niveau de la lumière du boîtier, en sens inverse, pour annuler le moment de la force. Dans ce même exemple, si l'on veut effectuer un mouvement de racine dans la même direction que le mouvement, un couple supérieur à 1000g.mm sera nécessaire. Pour produire un couple de cette amplitude dans une lumière 0,018" (0,457mm), une force de 2200g devra être appliquée aux deux points d'application de la force entre le fil rectangulaire et les parois de la lumière.

2.2.2. Expression du torque en fonction de la dimension du fil et de la lumière du boîtier

L'expression complète de la prescription de torque de chaque boîtier n'est théoriquement possible que si le fil remplit complètement la lumière du boîtier. Lorsqu'il y a un jeu entre le fil et la lumière, une certaine proportion du torque sera perdue; c'est ce qui est communément appelé le « torque play ». L'ampleur du « torque play » variera en fonction de la hauteur de la lumière par rapport au diamètre du fil. Dans le cas d'un fil parfaitement rectangulaire, en ayant la hauteur de la lumière (H), la largeur du fil (ℓ) ainsi que sa hauteur (h), il est possible d'utiliser les formules (1) et (2) pour calculer l'angle (ϕ) entre l'axe de la lumière et celui du fil représentant la perte de torque (Fig. 7)[17] .

$$(1) H = \ell \cdot \sin\phi + h \cdot \cos\phi$$

En isolant l'angle ϕ , on obtient la formule :

$$(2) \phi = 2 \cdot \arctan \frac{\ell \pm (\ell^2 - H^2 + h^2)^{1/2}}{H+h}$$

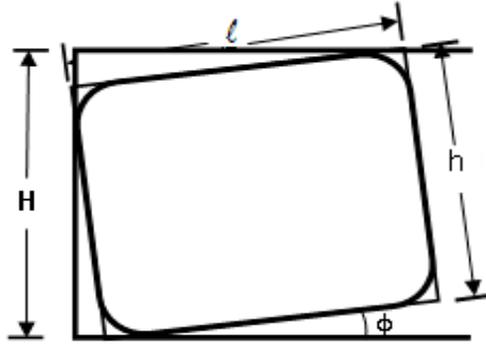


Fig. 7: Calcul de l'angle de perte de torque en fonction des dimensions du fil et de la lumière.

Il existe cependant des formules encore plus précises [Formules (3) et (4)] qui prennent en compte l'arrondissement des coins des fils dans le calcul de l'angle de perte de torque [43]. La connaissance du rayon (r) de cet arrondissement est alors nécessaire (Fig. 8). Par contre, cette donnée est rarement fournie par les manufacturiers.

$$(3) d = ((l-2r)^2 + (h-2r)^2)^{1/2}$$

$$(4) \phi = \arcsin \frac{H-2r}{d} - \arcsin \frac{h-2r}{d}$$

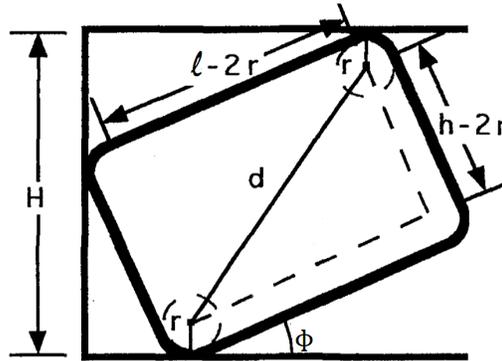


Fig. 8: Calcul de l'angle de perte de torque en prenant en compte l'arrondissement des coins du fil [43].

Lorsque le praticien veut calculer le torque qui sera exprimé lors du traitement, il utilise les formules mentionnées précédemment. Pour ce faire, il doit utiliser les valeurs nominales fournies par les manufacturiers afin de calculer le torque exprimé. En règle générale, pour chaque 0,001" de différence entre la hauteur du fil et de la lumière, il y a

approximativement 4 à 5° de torque perdus par rapport au torque prescrit[20]. De ce fait, pour calculer précisément le torque effectif, les dimensions exactes du fil et de la lumière du boîtier doivent être prises en compte. Cependant, ces dernières sont influencées par les standards de fabrication qui ne sont pas publiés par les manufacturiers. On calcule donc le torque effectif en soustrayant la valeur de la prescription par la valeur du « torque play ». Par exemple, si on a un « torque play » de 10° dans un boîtier ayant une prescription de 17°, nous obtiendrons un torque effectif de seulement 7°.

2.2.3. Lumière 0,022" versus 0,018"

Lorsque la technique edgewise a été développée par Angle dans les années 1920, la dimension de la lumière était de 0,022" de hauteur par 0,028" de profondeur. Cette dimension, qui accommodait des fils fait en or, permettait de donner à ce type de fil un volume minimal afin d'obtenir les propriétés nécessaires en torsion pour effectuer des mouvements de torque[4]. Un fil en or de section transversale inférieur à 0,022"x0,028" n'aurait pas eu la rigidité nécessaire pour réaliser ce type de mouvement.

Avec l'apparition des fils en acier inoxydable beaucoup plus rigide que l'or, il devenait possible de diminuer les dimensions de la lumière des boîtiers. Les boîtiers avec une lumière de 0,018" de hauteur par 0,025" de largeur sont alors apparus. Avec un fil en acier inoxydable remplissant cette lumière, ce système produisait une force légèrement supérieure au système original d'Angle avec fils en or tout en permettant un bon contrôle du torque.

Aujourd'hui, les deux dimensions sont utilisées et offertes sur le marché. Il existe des avantages et des inconvénients aux deux systèmes. Certains auteurs, tels Alexander, Ricketts et Hilgers, préconisent l'utilisation de boîtiers 0,018" tandis que d'autres, tels Angle, Tweed, Merrifield et Damon, utilisent des boîtiers 0,022". D'autres auteurs, comme Gianelly, ont même développé une technique bidimensionnelle utilisant des boîtiers 0,022"

en postérieur et 0,018" en antérieur[44]. Le tableau 2 résume les avantages et les inconvénients de ces trois systèmes. L'avantage principal de l'utilisation de boîtiers 0,018" en antérieur est un meilleur contrôle du torque tout au long du traitement, et ce, même si l'on utilise des fils de plus petites sections transversales; le « torque play » y est beaucoup plus faible que dans un boîtier 0,022".

Tableau 2: Avantages et inconvénients des boîtiers 0,018" et 0,022"

	Lumière 0,022"	Lumière 0,018"	Technique bidimensionnelle
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Permet l'utilisation de fil de dimension égale ou supérieure à 0,018" lors de la fermeture d'espace en « sliding mechanics », assurant une rigidité minimale du fil tout en maintenant un jeu suffisant entre la lumière et le fil pour permettre un niveau de friction faible. 	<ul style="list-style-type: none"> - Permet une expression maximale du torque tout en utilisant des fils de coupes transversales de faibles dimensions (ex : 0,017" x 0,025"). - Réduction de l'inconfort du patient dû à l'utilisation de fils plus petits et de forces plus physiologiques[20]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Permet l'utilisation de fil 0,017"x 0,025" et même 0,018" x 0,025" en fermeture d'espace. - Permet un contrôle du torque des dents antérieures tout au long de la rétraction et de la fermeture d'espace tout en diminuant le niveau de friction en postérieur. - Permet une expression maximale du torque des dents antérieures tout en utilisant des fils de coupes transversales de faibles dimensions (ex : 0,017" x 0,025"), donc des forces plus physiologiques.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - L'utilisation de fils très rigides et de coupes transversales de dimensions plus importantes (0,021" x 0,025") est nécessaire pour exprimer complètement la prescription de torque du boîtier. Ces fils exercent un niveau de force important sur les dents. - Il y a perte de contrôle du torque des dents antérieures lors de leur rétraction avec des fils 0,018"x 0,025" et même 0,019"x 0,025" dû au « torque play » au niveau des dents antérieures. 	<ul style="list-style-type: none"> - La fermeture d'espace doit se faire sur des fils de coupe transversale de 0,016" x 0,022" pour diminuer le niveau de friction entre le fil et la lumière. Ces fils sont souvent flexibles dû à leur faible coupe transversale et peuvent se déformer lors de la fermeture d'espace par « sliding mechanics ». 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiert l'approvisionnement de deux grandeurs de boîtiers, ce qui implique un inventaire plus difficile à gérer pour le praticien.

2.3. Niveau de tolérance industriel lors de la fabrication des boîtiers orthodontiques

Aujourd'hui, les praticiens croient avoir le choix entre deux grandeurs de lumières de boîtiers précises, soit 0,022" ou 0,018". En réalité, les manufacturiers ne produisent pas de boîtiers de dimensions exactes, mais plutôt un spectre de grandeur allant de 0,0178" à 0,0237"[1, 43, 45-49]. Ces variations sont attribuables à plusieurs facteurs : le niveau de tolérance de fabrication variant d'un manufacturier à l'autre, la conversion des mesures impériales et métriques d'un pays à l'autre, le désir des manufacturiers de produire des lumières surdimensionnées pour diminuer la friction entre le fil et le boîtier et un manque de spécifications et de standards internationaux[45].

2.3.1. Méthodes de mesure

Dans la littérature, plusieurs auteurs se sont penchés sur la grandeur réelle de la lumière de différents boîtiers. Pour arriver à leur fin, ces derniers ont utilisé diverses méthodes pour mesurer précisément la hauteur de ces lumières.

Certains auteurs ont utilisé des microscopes optiques ou à balayage électronique pour effectuer ces mesures[48, 50-52]. L'image est alors prise au niveau de la surface mésiale ou distale de la lumière pour en obtenir une coupe perpendiculaire (Fig. 9). Cette technique a l'avantage de permettre la mesure de la hauteur de la lumière à différents niveaux bucco-linguaux afin d'en déterminer le profil. Par exemple, Cash et al. ont pu déterminer la convergence ou la divergence de la lumière de différents boîtiers en mesurant la hauteur à l'entrée et au fond de ces dernières[52]. En 2010, Major et al., à l'aide d'images prises depuis un microscope optique, ont poussé la technique un peu plus loin en mesurant la hauteur de différentes lumières à 5 différents points pouvant ainsi déterminer de façon plus précise leurs profils[50].

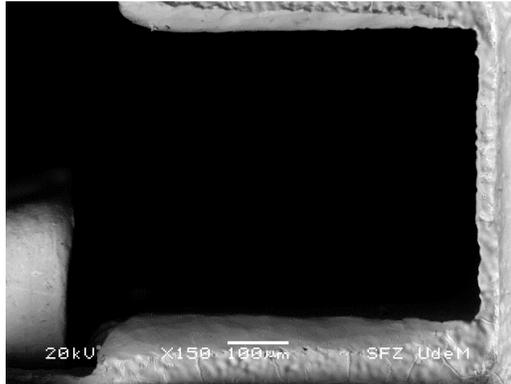


Fig. 9: Image du profil d'un boîtier prise à l'aide d'un microscope électronique

D'autres auteurs ont plutôt utilisé une jauge à feuille (Fig. 10) pour effectuer leurs mesures[17]. Ce type de jauge, avec une tolérance inférieure à $1\mu\text{m}$, est inséré à l'intérieur de la lumière du boîtier pour en mesurer sa hauteur. Cette technique a cependant l'inconvénient majeur de ne pas tenir compte du profil de la lumière. Il est donc impossible, avec cette technique, d'évaluer le parallélisme des parois puisque la mesure exprimée représente seulement la hauteur de la lumière à son point le plus étroit.



Fig. 10: Jauge à feuille (www.lgww.com)

Finalement, d'autres auteurs ont utilisé une méthode indirecte pour déterminer la hauteur de la lumière[43, 53]. La technique consiste à utiliser un fil rectangulaire dont la dimension est connue précisément. Une fois inséré dans le boîtier étudié, le fil est tourné

dans le 3^e ordre jusqu'à ce qu'il y ait une certaine résistance. L'angle entre le fil et la lumière est alors mesuré avec un appareillage conçu à cet effet. Il est facile par la suite, connaissant la valeur de ϕ , h , b et r , de calculer précisément la hauteur de la lumière à l'aide des formules (1), (2), (3) ou (4) mentionnées précédemment. Cette méthode a l'avantage de simuler une situation clinique et de calculer pratiquement la perte de torque. Par contre, elle nécessite un appareillage complexe et elle ne permet pas de déterminer « l'anatomie » exacte de la lumière du boîtier étudié.

2.3.2. Résultats obtenus avec les boîtiers 0,018"

Quelques études, dans la littérature, se sont penchées sur les variations dans la dimension verticale des boîtiers 0,018". Creekmore a écrit deux articles, le premier en 1979 et le deuxième en 1993, discutant de la perte de torque en fonction de la dimension du fil et de la lumière des boîtiers[1, 46]. Il ne mesura pas lui-même la hauteur des boîtiers, mais il utilisa pour faire ses calculs des données fournies par la compagnie 3M Unitek. Cette compagnie stipulait à cette époque que ses boîtiers « twins » de grandeur 0,018" avaient une dimension moyenne de $0,01845'' \pm 0,00025$ en 1979 et de $0,0187'' \pm 0,0005$ en 1993, soit une variation de 1,4 à 2,7%.

En 1981, Raphael et al. constatèrent de grandes variations dans le torque exprimé avec des tubes de grandeur 0,018" et 0,022". Ils attribuèrent ces variations au faible standard de fabrication de ces tubes ainsi que des fils orthodontiques[54, 55]. En 1984, Sebanc et al.[47] mesurèrent eux-mêmes, à l'aide d'un microscope optique, cinq boîtiers « twin » de centrale supérieure droite provenant des compagnies American Ortho et Ormco. Ils notèrent que la dimension verticale de la lumière des boîtiers American Ortho était en moyenne 8% supérieure à la valeur référence de 0,018" et que celle des boîtiers Ormco était en moyenne 6% supérieure. Plus récemment, en 1998, Meling et Odegaard[43, 56] ont utilisé deux méthodes différentes pour faire l'évaluation de la hauteur de la lumière de dix boîtiers « twin » d'Ormco. Ils mesurèrent directement cette valeur avec un microscope

optique et ils comparèrent par la suite leurs résultats avec la valeur obtenue par méthode indirecte en calculant sa dimension à l'aide des formules (3) et (4). Ils ont alors obtenu des résultats en moyenne 4% supérieurs à la valeur de référence. En 1999, Kusy et Whitley[48] ont mesuré onze différents types de boîtiers de grandeur 0,018" provenant de six différents manufacturiers à l'aide de l'optique d'un testeur de micro-dureté (type de microscope optique). Les boîtiers avec la dimension la plus grande étaient en moyenne surdimensionnés de 16% alors que certaines compagnies avaient des résultats respectant la valeur de 0,018". Dans cette étude, les plus grands écarts ont été notés au niveau des boîtiers fabriqués à partir du système métrique par des compagnies européennes telle Dentaurum. Les auteurs de cet article ont attribué cet écart au fait que les normes de fabrication de ces boîtiers européens ont pour valeur référence 0,5mm, ce qui correspond à 0,0197". Malgré cet écart, ces boîtiers sont vendus ici comme boîtiers 0,018"[48, 49]. Finalement, en 2000, Fischer-Brandies et al., dans un article portant sur la perte de torque, ont mesuré quinze boîtiers Dentaurum et ont constaté qu'en moyenne ils n'étaient surdimensionnés que de 1%.

Au niveau du parallélisme des parois, seulement un article s'est penché sur le profil de la lumière[56]. Dans cet article, les auteurs ont noté que la lumière des boîtiers Ormco était divergente vers la surface buccale en moyenne de $1,85^{\circ}$. Les résultats des différentes recherches portant sur les boîtiers 0,018" sont résumés en détail dans le tableau 3.

Avec toutes ces études sur les boîtiers 0,018", nous pouvons constater que les manufacturiers surdimensionnent en général la hauteur de la lumière de leurs boîtiers jusqu'à 16% chez certains manufacturiers[48]. Il est important de noter que toutes ces recherches ont porté sur des boîtiers « twin » d'ancienne génération. Aucune étude n'a étudié les boîtiers 0,018" auto-ligaturants actuellement disponibles sur le marché. Les recherches récentes ont davantage porté sur les boîtiers auto-ligaturants de grandeur 0,022".

Tableau 3: Résultats des recherches ayant étudié les boîtiers 0,018''

Auteur	Année	Méthode de mesure	Manufacturier	Mesure moyenne	Valeur minimale	Valeur maximale	Convergence des parois
Creekmore	1979	Mesures fournies par le fabricant	3M Unitek	0,01845	0,0182	0,0187	Non spécifiée
Sebanc et al.	1984	Microscope optique (5 boîtiers par compagnie)	American Ortho	0,0194	0,0181	0,0211	Non spécifiée
			Ormco	0,0191	0,0181	0,0196	Non spécifiée
Creekmore et al.	1993	Mesures fournies par le fabricant	3M Unitek	0,0187	0,0182	0,0192	Non spécifiée
Meling et Odegaard	1998	Microscope optique (5 boîtiers)	Ormco	0,0185	Non spécifiée	Non spécifiée	1,85°±0,15°
Meling et Odegaard	1998	Méthode indirecte (10 boîtiers)	Ormco	0,0187	0,0185	0,0189	Non spécifiée
Kusy et Whitley	1999	Microscope optique (un boîtier par compagnie mesuré 6 fois)	A Company	0,0182	0,0180	0,0184	Non spécifiée
			American Ortho (20/20)	0,0178	0,0176	0,018	Non spécifiée
			Dentaurum (Fascination)	0,0207	0,0202	0,0212	Non spécifiée
			Dentaurum (Rematitan 17°T)	0,0201	0,0198	0,0204	Non spécifiée
			Dentaurum (Rematitan 7°T)	0,0209	0,0206	0,0212	Non spécifiée
			Dentaurum (Ultra-minitrim)	0,0204	0,0202	0,0206	Non spécifiée
			Ormco (Lumina Twin)	0,0183	0,0178	0,0188	Non spécifiée
			3M Unitek (Victory mini twin)	0,0183	0,0181	0,0185	Non spécifiée
			3M Unitek (New Ceramic)	0,0180	0,0175	0,0185	Non spécifiée
			3M Unitek (Transcend 6000)	0,0183	0,0178	0,0188	Non spécifiée
Fisher-Brandies et al.	2000	Microscope optique (15 boîtiers)	Dentaurum (Ultratrim)	0,0181	0,175	0,0187	Non spécifiée

2.3.3. Résultats obtenus avec les boîtiers 0,022"

On peut trouver dans la littérature une dizaine d'articles étudiant les dimensions des boîtiers 0,022"[1, 17, 30, 46-53]. Trois de ces articles sont très récents et ont porté sur les boîtiers auto-ligaturants modernes similaires à ceux étudiés dans ce mémoire : SmartClip (3M Unitek), Speed (Strite Industries), InOvationR (GAC), CarrièreLX (Ortho Organizers) et Damon3MX ou Q (Ormco)[17, 50, 51]. Ces trois recherches ont utilisé des méthodes de mesures différentes pour analyser le profil et la dimension de la lumière des boîtiers étudiés. Joch et al.[17], en 2010, ont utilisé une jauge à feuille avec une précision d' $1\mu\text{m}$ pour évaluer la dimension de dix boîtiers de centrale supérieure provenant de quatre différents manufacturiers. Major et al.[50], la même année, ont mesuré la lumière de trente boîtiers de centrale supérieure droite de trois différents manufacturiers à l'aide d'un microscope optique et d'une caméra digitale. Bhalla et al.[51] ont de leur côté utilisé un microscope électronique pour mesurer six boîtiers d'incisives centrales supérieures de quatre différents manufacturiers. En fonction de la recherche, des variations de la grandeur se situant entre -3,6% et + 5% ont été trouvées pour les boîtiers Speed. Major et al. ont noté que la mesure de la hauteur de la lumière de ces boîtiers était affectée par la présence de concavités au niveau des parois (parois non régulières) altérant la prise de mesures. Au niveau des boîtiers InOvationR, des variations entre +1% et +9% ont été trouvées selon la recherche. Une divergence de $1,47^\circ$ a également été observée au niveau des parois[50]. Une seule de ces recherches[51] a étudié les boîtiers SmartClip (3M Unitek) et un écart moyen de +15% a été trouvé. Au niveau des boîtiers CarrièreLX, Joch et al. ont trouvé en 2010 qu'ils étaient surdimensionnés en moyenne de 6%[17]. Diverses générations de boîtiers Damon (Ormco) ont été étudiées par ces trois recherches et il est intéressant de noter qu'ils sont en moyenne surdimensionnés de 1% à 13% en fonction de l'étude. Ce type de boîtier a également les parois occlusales et gingivales les plus parallèles l'une par rapport à l'autre avec des angles de transition de 90° avec le fond de la lumière. Il en résulte un profil de lumière rectangulaire presque parfait. Les boîtiers Damon ne pourront cependant pas être

étudiés dans ce projet puisqu'ils ne sont pas disponibles en grandeur 0,018". Les résultats détaillés de ces recherches sont illustrés dans le tableau 4.

Tableau 4: Études portant sur les boîtiers 0,022" auto-ligaturants de dernière génération

Auteurs	Profondeur de la prise de donnée	Speed		In-Ovation R		Smart-Clip		Carrière LX		Damon 3MX ou Q	
		Moyenne	SD	Moyenne	SD	Moyenne	SD	Moyenne	SD	Moyenne	SD
Bhala et col.	Non-spécifié	0,0231	0,0003	0,0239	0,0002	0,0253	0,0007	Non-évalué	Non-évalué	0,0248	0,0003
Major et col.	Base de la lumière	0,0212	0,0004	0,0222	0,0004	Non-évalué	Non-évalué	Non-évalué	Non-évalué	0,0225	0,007
	Sortie de la lumière	0,0215	0,0003	0,0230	0,0003	Non-évalué	Non-évalué	Non-évalué	Non-évalué	0,0224	0,009
Joch et col.	Non-spécifié	0,0222	0,0001	0,0231	0,0001	Non-évalué	Non-évalué	0,0234	0,0001	0,0235	0,0001

D'autres articles, plus anciens, ont étudié des boîtiers auto-ligaturants d'ancienne génération ou des boîtiers « twin »[46-49, 52, 53]. Les résultats varient d'une étude à l'autre. Les variations les plus grandes ont été obtenues en 2004 par Cash. et al.[52] et étaient jusqu'à 24% supérieures à la valeur référence de 0,022". Dans cet article, les auteurs concluent également que la géométrie des boîtiers varie grandement d'un manufacturier à l'autre et que les parois de la lumière peuvent être parallèles, divergentes ou convergentes.

Chapitre 3. Objectifs du projet de recherche

Ce projet de recherche répond à la problématique décrite ci-après. Tel que mentionné précédemment, les manufacturiers ne précisent à peu près jamais leur niveau de tolérance lors de la fabrication de leurs boîtiers. En tant que cliniciens, nous tenons pour acquis que la dimension citée par le fabricant est juste. Par contre, plusieurs projets de recherche dans les dernières années ont démontré qu'il existait un écart certain entre la dimension citée et la dimension réelle. Au point de vue clinique, cette dimension est importante, car elle a une influence sur la précision des mouvements que l'orthodontiste pourra effectuer, principalement au niveau du 3^e ordre. Jusqu'à présent, aucune étude n'a analysé de façon précise le profil de la lumière des boîtiers auto-ligaturants modernes de grandeur 0,018" (0,457mm). Les études récentes ont davantage porté sur les boîtiers 0,022". Depuis l'étude de Kusy et Whitley en 1999, aucune recherche n'a étudié cette grandeur de boîtier[48]. Les utilisateurs de boîtiers 0,018" modernes (0,457mm) n'ont donc que très peu de littérature disponible ayant vérifié la précision de la lumière des boîtiers qu'ils utilisent. Ils doivent donc se fier aux fabricants.

Les objectifs de recherche de ce projet sont donc séparés en trois volets distincts. Le premier objectif est d'obtenir une image précise du profil de la lumière de différents boîtiers auto-ligaturants modernes afin de pouvoir en analyser la hauteur et le profil. Ces images seront obtenues à l'aide d'un microscope à balayage électronique. Un total de vingt-cinq boîtiers de grandeur 0,018"x0,025" provenant de quatre manufacturiers populaires seront analysés pour en vérifier la précision de fabrication. La hauteur occluso-gingivale de la lumière de chaque boîtier sera mesurée à plusieurs endroits pour en vérifier la constance.

Le second volet de cette recherche portera sur le parallélisme et la géométrie des parois de la lumière de ces boîtiers. Nous pourrons ainsi déterminer si ces parois sont parallèles, convergentes ou divergentes.

En troisième lieu, nous évaluerons l'impact clinique des mesures trouvées en calculant de façon géométrique la perte de torque engendrée par ces variations au niveau de la fabrication des différents boîtiers. Nous pourrons ainsi évaluer la différence entre le « torque play » théorique et réel en fonction de nos mesures et ainsi déterminer le torque effectif de chaque boîtier.

Enfin, nous établirons si ces variations sont comparables aux résultats obtenus par les études récentes portant sur les boîtiers 0,022" modernes. Nous comparerons également nos résultats avec les études ayant porté sur les boîtiers 0,018 " d'ancienne génération à la fin des années 1990.

Chapitre 4. Article

Une évaluation de la dimension de la lumière de boîtiers 0,018 " provenant de quatre différents manufacturiers.

Existe-t-il un standard dans l'industrie?

Auteurs :

Richard, Laurent, DMD¹

Remise, Claude, DDS, M.Sc.¹

Fortin, Daniel, DMD, M.Sc.²

1-Section d'orthodontie, Département de santé buccale, Faculté de médecine dentaire, Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada.

2-Département de santé buccale, 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, Canada

H3V 1H9

4.1. Résumé

Introduction : Cette recherche a été une étude expérimentale conduite en laboratoire visant à évaluer la dimension verticale ainsi que la géométrie de la lumière de différents boîtiers auto-ligaturants populaires de grandeur 0,018". Par la suite, il a été possible de calculer mathématiquement la perte de torque engendrée par ces variations.

Matériel et méthode : Vingt-cinq boîtiers auto-ligaturants d'incisive centrale supérieure gauche de quatre différents fabricants, Speed® (Strite Industries, Cambridge, Ontario, Canada), InOvationR® (GAC, Bohemia, NY, USA), CarriereLX® (Ortho Organizers, Carlsbad, CA, USA) et SmartClip SL® (3M Unitek, Monrovia, CA, USA), ont été évalués en utilisant un microscope à balayage électronique à un grossissement de 150X. La hauteur de la lumière a été mesurée à tous les 100 microns de profondeur à cinq différents niveaux, permettant ainsi d'établir sa hauteur moyenne et d'évaluer le parallélisme de ses parois. Le test T de Student a été utilisé pour déterminer si ces valeurs étaient statistiquement significatives comparativement à la valeur de référence de 0,018". Un test de variance (ANOVA), avec un seuil de signification $p < 0,05$, a été utilisé pour comparer les boîtiers des différents fabricants entre eux. La perte de torque a, par la suite, été calculée théoriquement à l'aide de formules géométriques en fonction d'un fil donné.

Résultats : En moyenne, la lumière des boîtiers Speed était surdimensionnée de 2,7% [VM : 0,0185" (DS : 0,002)], InOvationR de 3,7% [VM 0,0187" (DS : 0,002)], CarriereLX de 3,2% [VM 0,0186" (DS : 0,002)] et SmartClip SL de 5,0% [VM 0,0189" (DS : 0,002)]. La hauteur moyenne des quatre types de boîtiers a démontré une différence statistiquement significative par rapport à la valeur de référence de 0,018" ($p < 0,001$). Il existe également une différence statistiquement significative entre la hauteur moyenne des boîtiers SmartClip et celle des trois autres fabricants ($p < 0,001$). Aucun des boîtiers étudiés n'avait les parois gingivales et occlusales parallèles, certaines étaient divergentes, d'autres convergentes. Ces variations peuvent engendrer cliniquement une perte de torque jusqu'à 4,5° avec un fil 0,017"x0,025" et jusqu'à 8,0° avec un fil 0,016"x0,022".

Conclusion : La lumière de tous les boîtiers étudiés était légèrement surdimensionnée. La géométrie de la lumière variait d'un manufacturier à l'autre, certains boîtiers étaient convergents et d'autres divergents. Ces variations causées par les méthodes de fabrication engendrent une perte de torque supplémentaire par rapport à la valeur nominale.

Mots-clés : boîtiers, lumière, auto-ligaturant, dimension, Speed, SmartClip, InOvationR, CarriereLX.

4.2. Abstract

Introduction: The objective of this experimental research was to evaluate the slot's vertical dimension and profile of four different 0.018" self-ligating brackets and to identify the level of tolerance accepted by manufacturers during the fabrication process. It was then possible to calculate and compare the torque play of those brackets using the measured values and the nominal values.

Material and Methods: Twenty-five 0.018" self-ligating brackets of upper left central incisors from the following manufacturers, Speed® (Strite Industries, Cambridge, Ontario, Canada), InOvationR® (GAC, Bohemia, NY, USA), CarriereLX® (Ortho Organizers, Carlsbad, CA, USA) and SmartClip® (3M Unitek, Monrovia, CA, USA), were evaluated using electron microscopy with 150X images. The height of each bracket was measured at every 100 microns of depth from the lingual wall at five different levels. A Student T test was then used to compare our results with the manufacturer's stated value of 0.018". To determine if there was a significant difference between the four manufacturers, analysis of variance (ANOVA) was performed at the significance level of $p < 0.05$. The torque play was then calculated using geometrical formulas.

Results: On average, Speed brackets were oversized by 2.7% [MV 0.0185" (SD:0.002)], InOvationR by 3.7% [MV 0.0187" (SD:0.002)], CarriereLX by 3.2% [MV 0.0186" (SD:0.002)] and SmartClipSL by 5.0% [MV 0.0189" (SD:0.002)]. The height of all

brackets was significantly higher than the nominal value of 0.018" ($p < 0.001$). The slot of SmartClip brackets was significantly larger than those of the other three manufacturers ($p < 0.001$). None of the brackets studied had parallel gingival and occlusal walls; some were convergent and others divergent. These variations can induce a torque play up to 4.5° with a 0.017"x0.025" wire and 8.0° with a 0.016"x0.022" wire.

Conclusion: All studied brackets were oversized. None of the brackets studied had parallel gingival and occlusal walls and there was no standard between manufacturers for the geometry of their slots. These variations can cause a slight increase of the torque play between the wire and the bracket compared with the nominal value.

Keywords: Self-ligating, brackets, slot, size, Speed, SmartClip, InOvationR, CarriereLX.

4.3. Introduction

C'est au début du 19^e siècle que la technique « edgewise » traditionnelle développée par Angle, puis par Tweed et Merrifield, fut introduite en orthodontie[7-9]. Cette technique d'orthodontie fixe permettait entre autres un meilleur contrôle de l'inclinaison bucco-linguale des dents comparativement aux techniques précédentes. À cette époque, une lumière de 0,022"(0,559mm) de hauteur par 0,028"(0,711mm) de profondeur était utilisée pour accommoder les propriétés des fils en or largement utilisés. Avec le développement des fils en acier inoxydable beaucoup plus rigides, l'utilisation de fils et de lumières plus petits, soit de 0,018"(0,457mm) de hauteur par 0,025"(0,533mm) de profondeur, fut rendue possible[23]. Aujourd'hui, ces deux grandeurs de boîtiers sont encore utilisées.

La deuxième étape majeure dans l'évolution de la technique «edgewise» fut le développement de la technique à fil droit par Andrews[12, 13, 15, 16]. Avec cette technique, une prescription dans les trois ordres a été incorporée à tous les boîtiers afin d'optimiser la position finale de chaque dent. Pour exprimer cette prescription de façon complète, il faut cependant utiliser un fil rectangulaire de grandeur maximale dans la lumière du boîtier afin de permettre une adaptation la plus parfaite possible entre le fil et le

boîtier. Dans le 3^e ordre, lorsqu'il y a une différence entre la dimension du fil et celle de la lumière, cela engendre un jeu entre ces deux composantes de quelques degrés communément appelé « torque play »[1]. Au point de vue clinique, Siatkowski a démontré qu'une perte de torque aussi petite que 5° pouvait engendrer un désalignement des bouts incisifs de 1,3mm au niveau des incisives supérieures et de 1,2mm au niveau des incisives inférieures compromettant le résultat clinique final[49].

Dans la littérature, il a été démontré à maintes reprises que des variations, causées par les différents procédés industriels de fabrication des boîtiers, existent entre la dimension nominale citée et celle mesurée en réalité. Dans la plupart des cas, les manufacturiers surdimensionnent la lumière de leurs boîtiers. Plusieurs études ayant évalué les tubes[54, 55] et les boîtiers «twin» de grandeur 0,018"[43, 47, 48, 53-56] ont trouvé des variations allant jusqu'à 16%. Au niveau des boîtiers 0,022", des variations importantes ont également été trouvées[1, 17, 30, 46-53]. En 2004, Cash et al. ont même trouvé que certains boîtiers 0,022" étaient surdimensionnés de 24%, créant ainsi un important « torque play » supplémentaire non calculable par le praticien. De plus, il a été démontré que la géométrie du profil de la lumière variait d'un manufacturier à l'autre et qu'elle pouvait être soit parallèle, convergente ou divergente[50, 52].

Parmi ces articles, peu ont porté sur les boîtiers auto-ligaturants modernes. On retrouve néanmoins trois études qui ont évalué des boîtiers de grandeur 0,022" et qui ont trouvé des variations entre les hauteurs nominales et réelles se situant entre -3,6% et +14,8% en fonction du manufacturier[17, 50, 51]. Pour parvenir à leur fin, ces études ont utilisé des méthodes différentes de mesures : microscope optique, microscope à balayage électronique et jauge à feuille. Les trois techniques se sont avérées efficaces pour mesurer de façon précise la hauteur de la lumière. Cependant, la technique avec jauge à feuille ne permettait pas d'évaluer la géométrie du profil de la lumière et elle ne mesurait la hauteur qu'à son point le plus étroit.

Il est donc très difficile, pour ne pas dire impossible, pour les cliniciens utilisant des boîtiers 0,018" auto-ligaturants modernes d'obtenir les niveaux de tolérance de fabrication des boîtiers qu'ils utilisent. Le but de cette étude est donc de vérifier les standards de fabrication de la lumière de quatre types de boîtiers auto-ligaturants populaires de grandeur 0,018". En plus de la hauteur occluso-gingivale de la lumière, une évaluation de la géométrie de la lumière sera faite à l'aide d'un microscope à balayage électronique. Il sera possible par la suite d'évaluer géométriquement la perte de torque engendrée par ces variations. Nous pourrons par la suite comparer nos résultats avec ceux obtenus par d'autres études avec les boîtiers 0,022" auto-ligaturants similaires. Notre hypothèse nulle est que la hauteur réelle respectera la valeur nominale de 0,457mm et que les parois gingivale et occlusale de la lumière seront parallèles.

4.4. Matériel et méthode

Dans cette recherche, vingt-cinq boîtiers auto-ligaturants de centrale supérieure gauche de grandeur 0,018" (0,457mm) de quatre différents manufacturiers ont été choisis aléatoirement. Les boîtiers des fabricants suivants ont été analysés : Speed® (Strite Industries, Cambridge, Ontario, Canada), InOvationR® (GAC, Bohemia, NY, USA), CarriereLX® (Ortho Organizers, Carlsbad, CA, USA) et SmartClip® (3M Unitek, Monrovia, CA, USA).

Chaque boîtier a été nettoyé à l'aide d'alcool 90% avant la prise d'image afin d'éliminer tous corps gras ou poussières pouvant nuire à la qualité des mesures. Les portes des boîtiers Speed, InOvationR et CarriereLX ont été ouvertes avant la prise d'image. Les crochets des boîtiers SmartClip ont dû être enlevés à l'aide d'une fraise diamantée pour exposer adéquatement la lumière du boîtier. Les boîtiers ont ensuite été montés individuellement sur la plateforme du microscope afin que l'on puisse prendre une image de leur surface distale. Chaque boîtier a été placé méticuleusement afin que la lumière soit perpendiculaire à l'image prise par le microscope. L'alignement était par la suite confirmé

visuellement sur l'image afin que les parois de la lumière ne soient pas inclinées. Par la suite, chaque boîtier a été individuellement scanné par un microscope à balayage électronique (JEOL JSM-6460LV, Peabody, Mass, USA) à un grossissement de 150X afin de produire une image numérique à partir de laquelle les mesures ont pu être prises (Fig. 12 à 15).

Les cent images obtenues ont ensuite été transférées en format .bmp pour leur analyse et leur calibration avec le programme *analySIS* (Soft Imaging System par Olympus soft Imaging solution, Tokyo, Japon). La hauteur entre les parois gingivale et occlusale de chaque boîtier a été mesurée à tous les 100 microns à partir du fond de la lumière. Aucune mesure n'a été prise au fond de la lumière pour éviter le biais engendré par l'arrondissement des coins de celle-ci. Nous avons également décidé de ne pas prendre de mesures à 600 microns (0,0236"), car l'arrondissement de l'entrée de la lumière variait beaucoup d'un boîtier à l'autre, ce qui aurait influencé les mesures de façon non représentative. Il a été possible de mesurer les boîtiers Speed, Smart Clip et Carriere LX à cinq différentes profondeurs, soient 100, 200, 300, 400 et 500 microns, et ce, à partir de la paroi linguale de la lumière. La paroi gingivale de la lumière étant plus courte pour les boîtiers InOvationR due à la morphologie du mécanisme actif de fermeture de la porte, la hauteur n'a été mesurée qu'à quatre différentes profondeurs, soient à 100, 200, 300 et 400 microns de la paroi linguale (Fig. 14).

Les données ont par la suite été analysées avec le programme statistique Systat 13.0 (Systat software Inc, Chicago, Il, USA). La hauteur moyenne de chaque boîtier a été déterminée en fonction des mesures obtenues. Des tests T (Student T tests) ont été utilisés pour vérifier si l'écart obtenu était statistiquement significatif en fonction de la norme de 457,2 microns citée par les manufacturiers. Des tests ANOVA à une variable indépendante ont par la suite été utilisés pour comparer les hauteurs moyennes de chaque compagnie par rapport aux trois autres manufacturiers. Des tests ANOVA en mesures répétées ont par la suite servi à déterminer si la convergence ou la divergence des parois occlusales et gingivales se faisait de façon linéaire en fonction de la profondeur de la mesure. La

reproductibilité de la méthodologie utilisée dans ce projet a été vérifiée en utilisant un test de fiabilité intra-observateur, plus précisément un test de coefficient de corrélation intra-classe (CCI).

En fonction des résultats obtenus, la perte de torque en degré a été calculée géométriquement en comparant la hauteur citée par le manufacturier et la hauteur moyenne obtenue pour chaque boîtier. La formule géométrique[54] (Fig. 11) suivante a été utilisée pour ce calcul :

$$\phi = \sin^{-1} \frac{(\ell H - h(h^2 + \ell^2 - H^2)^{1/2})}{h^2 + \ell^2}$$

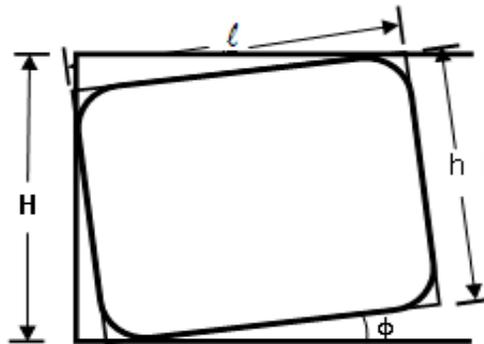


Fig. 11: Équation géométrique pour le calcul de la perte de torque.

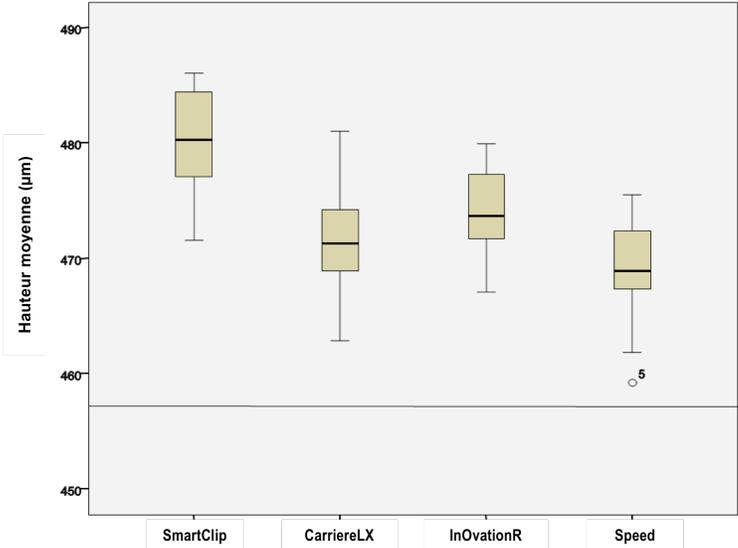
4.5. Résultats

Toutes les mesures de ce projet ont été prises avec le système métrique et ont été comparées à la valeur de référence de 0,018" (0,457mm). La méthode utilisée s'est avérée précise et reproductible puisque nous avons obtenu un résultat de 0,964 au test CCI pour un échantillon composé de 12 boîtiers mesurés à deux reprises. Une fois tous les boîtiers analysés, il a été possible de calculer pour chaque manufacturier les hauteurs moyennes en fonction de la profondeur de la mesure (Tableau 5 et Graphique 2) et la hauteur moyenne globale pour chaque type de boîtier (Graphique 1).

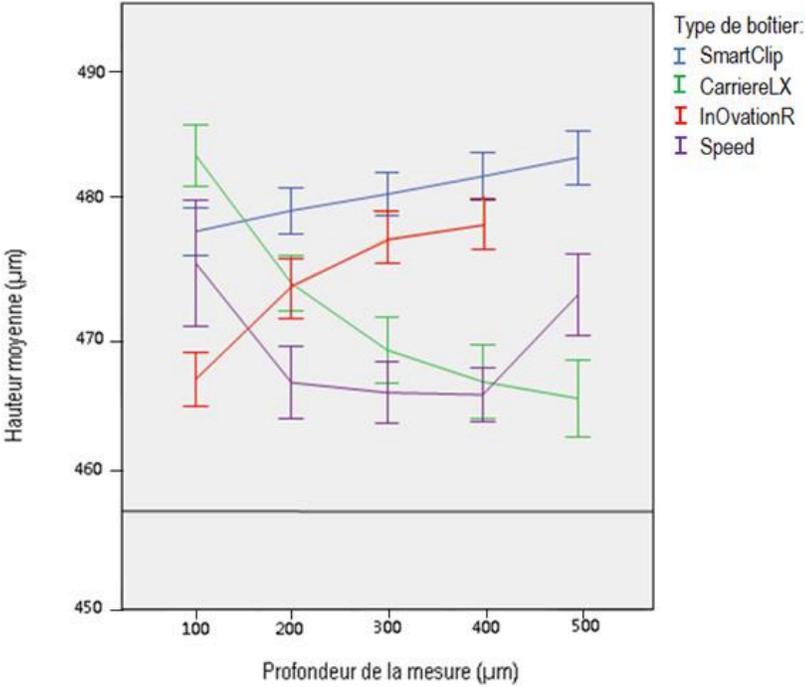
Tableau 5: Hauteur moyenne en fonction de la profondeur de la mesure (microns).

	N	Moyenne	Écart-type	Erreur type moyenne
SC100	25	477,6832	4,27259	,85452
SC200	25	479,2108	4,22799	,84560
SC300	25	480,4212	4,02524	,80505
SC400	25	481,7368	4,40186	,88037
SC500	25	483,1044	4,97679	,99536
SCMOY	25	480,4312	4,11847	,82369
CARR100	25	483,2748	5,59737	1,11947
CARR200	25	473,8888	5,15136	1,03027
CARR300	25	468,9948	6,06641	1,21328
CARR400	25	466,6644	6,79091	1,35818
CARR500	25	465,4452	6,97876	1,39575
CARRMOY	25	471,6548	5,06083	1,01217
INOV100	25	466,8936	4,93363	,98673
INOV200	25	473,5260	5,45581	1,09116
INOV300	25	477,2104	4,77035	,95407
INOV400	25	478,2100	4,71587	,94317
INOVMOY	25	473,9600	3,91626	,78325
SPEED100	25	475,3596	11,56284	2,31257
SPEED200	25	466,6220	6,58067	1,31613
SPEED300	25	465,8888	5,54319	1,10864
SPEED400	25	465,7236	5,00786	1,00157
SPEED500	25	473,0844	7,46246	1,49249
SPEEDMOY	25	469,3364	4,43416	,88683

Graphique 1: Hauteur moyenne de la lumière de 25 boîtiers de quatre différents manufacturiers comparativement à la valeur nominale de 457 microns.



Graphique 2: Évaluation statistique du profil de la lumière des quatre différents manufacturiers.



Au niveau des vingt-cinq boîtiers SmartClip, une hauteur moyenne globale de 0,480mm (0,0189") a été trouvée avec un écart type de 0,004mm (Tableau 5). On peut donc conclure que ces boîtiers sont surdimensionnés en moyenne de 5,0% et que cette différence est statistiquement significative avec un $p < 0,001$ par rapport à la valeur nominale de 0,457mm. Tel qu'illustrée dans le graphique 2, la hauteur de la lumière augmente progressivement plus on se dirige vers l'entrée de celle-ci. Ceci a permis de démontrer la divergence des parois gingivales et occlusales. La hauteur moyenne à 100 microns de la paroi linguale était de 0,478mm (DS: 0,004) et celle à 500 microns était de 0,483mm (DS: 0,005). Les tests ANOVA en mesure répétée ont démontré que la divergence se faisait de façon linéaire ($p < 0,001$) (Graphique 2). Lorsque nous calculons géométriquement la perte de torque, en comparant la hauteur moyenne trouvée de 480 microns à la valeur nominale de 457 microns, nous découvrons qu'avec un fil 0,017"x0,025" parfaitement rectangulaire, nous obtenons une perte de torque de $4,5^\circ$ et de $2,3^\circ$ respectivement, ce qui représente une perte de torque supplémentaire de $2,2^\circ$ par rapport à la valeur attendue. Avec un fil 0,016"x0,022", la perte de torque est de $8,0^\circ$ au lieu de $5,4^\circ$, soit une différence de $2,6^\circ$.

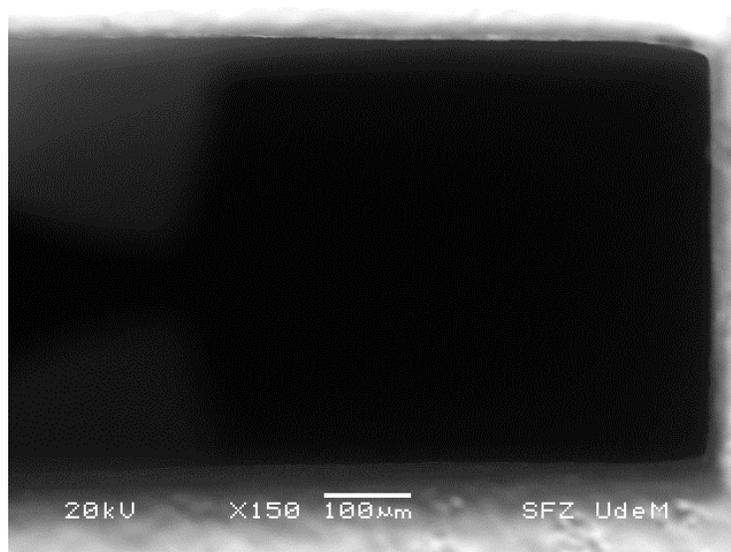


Fig. 12: Image d'un boîtier SmartClip à un grossissement de 150X avec un microscope à balayage électronique JEOL JSM-6460LV.

Les boîtiers CarriereLX étaient en moyenne surdimensionnés de 3,2% avec une hauteur moyenne de 0,472mm (0,0186") et un écart type de 0,005mm (tableau 5). Cet écart est également statistiquement significatif ($p < 0,001$) par rapport à la valeur nominale de 457 microns. Les tests ANOVA en mesure répétée ont démontré que la convergence des parois de la lumière des boîtiers CarriereLX se faisait de façon linéaire ($p < 0,001$) (Graphique 2). Avec ces valeurs trouvées, on peut calculer géométriquement une perte de torque de 3,8° avec un fil 0,017"x0,025" et de 7,1° avec un fil 0,016"x0,022", ce qui représente une augmentation de 1,5° et 1,7° respectivement par rapport à la perte de torque attendue.

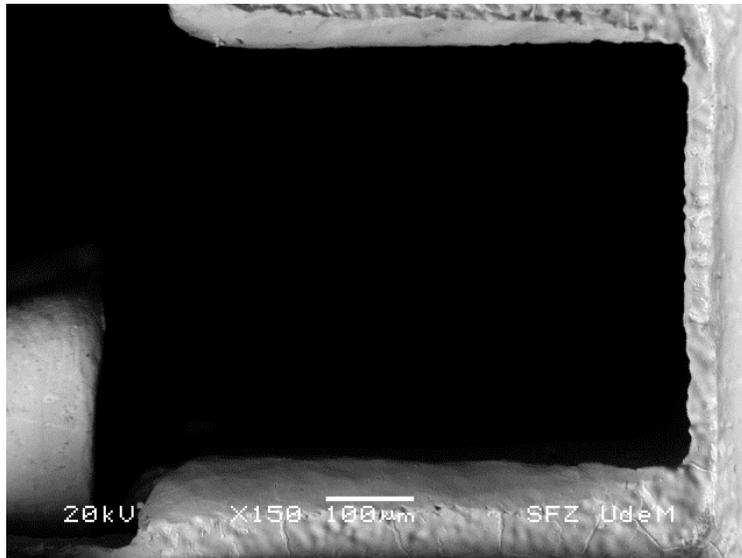


Fig. 13: Image d'un boîtier CarriereLX à un grossissement de 150X avec un microscope à balayage électronique JEOL JSM-6460LV.

Les boîtiers InOvationR étaient en moyenne surdimensionnés de 3,7% avec une moyenne de 0,474mm (0,0187") et un écart type de 0,004mm. Cet écart est statistiquement significatif avec la valeur nominale de 0,457mm ($p < 0,001$). Par contre, on peut penser que cette moyenne est légèrement inférieure à la réalité, car si nous avons pu prendre la mesure à 500 microns de la paroi linguale comme avec les autres types de boîtiers, nous aurions obtenu une hauteur moyenne plus élevée puisque les boîtiers InOvationR ont un profil

divergent (Graphique 2) et linéaire ($p < 0,001$) selon les test ANOVA. Pour ce qui est de la perte de torque calculée géométriquement, nous obtenons un angle de $4,0^\circ$ avec un fil $0,017'' \times 0,025''$ et de $7,4^\circ$ avec un fil $0,016'' \times 0,022''$, ce qui représente une augmentation respective de $1,7^\circ$ et de $2,0^\circ$ par rapport à la valeur nominale.

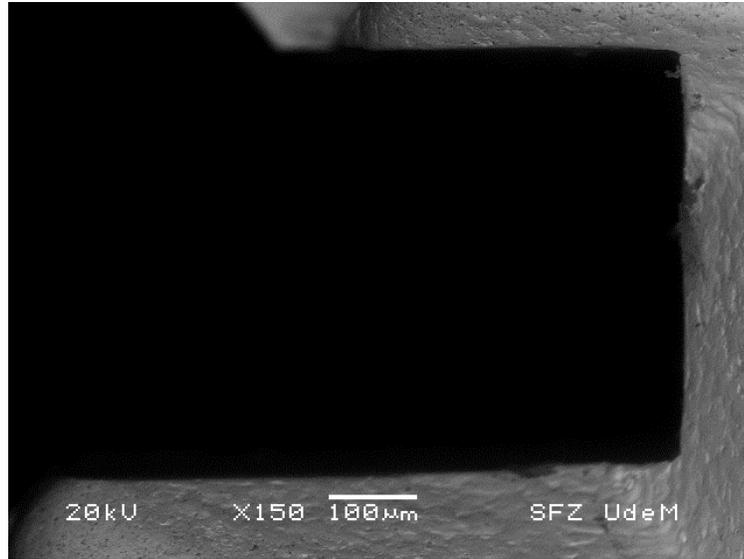


Fig. 14: Image d'un boîtier InOvationR à un grossissement de 150X avec un microscope à balayage électronique JEOL JSM-6460LV.

Finalement, les boîtiers Speed ont obtenu la moyenne la plus proche de la valeur de référence avec une hauteur moyenne de $0,469\text{mm}$ ($0,0185''$) et un écart type de $0,004\text{mm}$, ce qui représente une hauteur moyenne $2,7\%$ supérieure à la valeur de référence. Cette différence est statistiquement significative avec un $p < 0,001$. Par contre, plusieurs boîtiers mesurés avaient des concavités au niveau des parois gingivales et occlusales à 100 microns de profondeur, ce qui a fait augmenter la valeur moyenne de cette mesure à 475 microns. On constate également que l'écart type pour cette mesure est de $0,011\text{mm}$ (tableau 5), soit le plus élevé de l'étude, car ce ne sont pas tous les boîtiers qui présentaient ce défaut (Figure 15). De plus, on remarque que la hauteur moyenne à 500 microns du fond de la lumière est plus élevée (Graphique 2) que les hauteurs moyennes à 200 , 300 et 400

microns. Cette augmentation semble causée par le fait que cette mesure était prise presque à l'extrémité de la paroi gingivale (plus courte due au design du mécanisme actif de la porte). L'arrondissement du bout de cette paroi a donc pu influencer nos résultats. Ceci a également eu un effet sur l'évaluation du parallélisme des parois avec les tests ANOVA, car statistiquement, il a été conclu que les mesures n'évoluaient pas de façon linéaire. Le jeu au niveau du torque est le plus petit des quatre types de boîtiers étudiés puisque la hauteur moyenne est la plus proche de la valeur de référence. On obtient un « torque play » de $3,5^{\circ}$ avec un fil $0,017'' \times 0,025''$ et de $6,8^{\circ}$ avec un fil $0,016'' \times 0,022''$ en utilisant la hauteur moyenne trouvée, ce qui représente une augmentation de seulement $1,2^{\circ}$ et de $1,4^{\circ}$ respectivement par rapport à la valeur attendue.

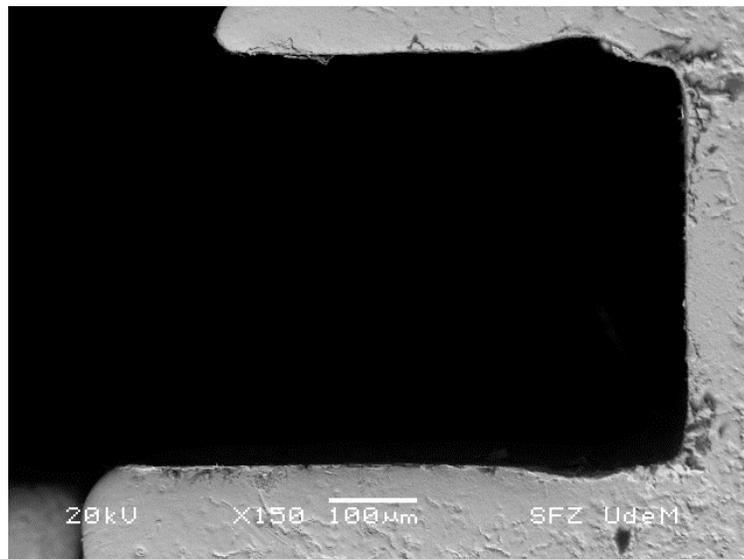


Fig. 15: Image d'un boîtier Speed à un grossissement de 150X avec un microscope à balayage électronique JEOL JSM-6460LV.

Lorsque nous avons comparé les hauteurs moyennes des quatre types de boîtier en utilisant un test ANOVA à une variable indépendante, il a été trouvé que la hauteur moyenne de la lumière des boîtiers SmartClip était supérieure à celle des trois autres manufacturiers ($p < 0,001$). Par contre, il n'a pas été possible de démontrer une différence

statistiquement significative entre la hauteur moyenne des boîtiers InOvationR, CarriereLX et Speed lorsque comparées entre elles.

4.6. Discussion

Avec la technique « edgewise », l'inclinaison bucco-linguale de la dent est contrôlée en introduisant un couple au niveau du boîtier. Ce couple est produit lorsque les coins d'un fil rectangulaire entrent en contact avec les parois de la lumière d'un boîtier lors d'un mouvement de torsion. L'utilisation de boîtiers avec une prescription de torque est maintenant chose courante en orthodontie. Par contre, plusieurs prescriptions différentes existent sur le marché et la différence entre elles n'est souvent que de quelques degrés. Afin d'exprimer à son maximum la valeur de torque incluse dans les boîtiers lors de leur fabrication, une adaptation parfaite entre le fil et la lumière est nécessaire. Pour ce faire, la hauteur de la lumière des boîtiers ainsi que la coupe transversale des fils utilisés devraient respecter les valeurs nominales affichées. Avec les résultats obtenus, on constate que l'hypothèse nulle est rejetée chez les quatre manufacturiers étudiés et que tous les boîtiers analysés étaient, en moyenne, surdimensionnés et ce jusqu'à 5,0%.

Nos résultats vont donc dans le même sens que les études précédentes ayant été publiées sur les boîtiers auto-ligaturants de grandeur 0,022". Trois études conduites en 2010[17, 50, 51] avaient trouvé des valeurs moyennes pour les boîtiers Speed entre -3,6% et + 5%, ce qui est comparable à nos résultats de + 2,7%. Comme Major et al. l'avaient noté lors de leur étude[50], nos mesures ont également été affectées par la présence de concavités au niveau des parois gingivale et occlusale, altérant la prise de mesure et le profil de la lumière de ce type de boîtier. Au niveau des boîtiers InOvationR, des variations moyennes entre +1,0% et +9,0% ont été trouvées dans ces mêmes trois recherches[17, 50, 51]. Nos valeurs se situent dans cet intervalle avec une hauteur moyenne trouvée de +3,7%. Nous avons noté la divergence des parois gingivale et occlusale sur ce type de boîtier, ce qui a également été observé au niveau des boîtiers 0,022"[50, 51]. Une seule de ces recherches[51] a étudié les boîtiers SmartClip de grandeur 0,022" et un écart moyen de

+15% avec un profil divergent avait alors été trouvé. Cependant, il faut noter que leur échantillon n'était composé que de cinq boîtiers. De notre côté, nous avons également trouvé un profil divergent. Par contre, nos résultats indiquent que la hauteur moyenne des boîtiers 0,018" SmartClip est plus proche de la valeur de référence avec un écart moyen de +5,0%, et ce, en utilisant sensiblement la même technique de mesure. En ce qui a trait aux boîtiers CarriereLX, Joch et al.[17] ont trouvé en 2010 qu'ils étaient surdimensionnés en moyenne de 6,0%; ils n'ont cependant pas évalué le profil de la lumière. De notre côté, nous avons obtenu un écart moyen de 3,2% avec un profil convergent. Ces trois articles constituent les principales données auxquelles nous pouvons comparer nos résultats car aucun comparatif valable n'existe dans la littérature pour ce qui est des boîtiers 0,018". Les dernières recherches ayant porté sur cette grandeur de boîtier datent de plusieurs années et ont évalué principalement des boîtiers « twin » conventionnels. Des écarts allant jusqu'à +16% sur certains types de boîtiers (Dentaurum Rematitan) avaient alors été trouvés avec des valeurs moyennes de 0,0209"[48].

Au niveau des impacts cliniques de ces résultats, il faut d'abord savoir que la hauteur de la lumière du boîtier n'est qu'un parmi plusieurs facteurs affectant la perte de torque. Pour en évaluer son effet, nous avons utilisé des formules géométriques afin de calculer de façon théorique la perte de torque supplémentaire causée par les standards de fabrication des boîtiers. Selon nos calculs, la perte de torque avec un fil de finition 0,017"x0,025" parfaitement rectangulaire varie en moyenne entre 3,5⁰ (Speed) et 4,5⁰ (Smart Clip) comparativement à une perte nominale attendue de 2,3⁰. Avec un fil 0,016"x0,022", c'est entre 6,8⁰ (Speed) et 8,0⁰(SmartClip) qui sont perdus au lieu de 5,4⁰ (Tableau 6). Par exemple, il serait théoriquement possible avec un fil 0,016"x0,022" d'avoir une différence de torque allant jusqu'à 16,0⁰, au lieu du 10,8⁰ prévu, entre deux dents voisines en utilisant des boîtiers SmartClip, soit une augmentation de 5,2⁰. Une telle différence peut expliquer un mauvais alignement des bouts incisifs durant le traitement et la nécessité de parfois avoir à faire des plis de torque supplémentaires.

Tableau 6 : Comparaison du « torque play » en fonction du manufacturier et de la hauteur de la lumière.

	Speed		InOvationR		CarriereLX		SmartClip	
	Hauteur nominale	Hauteur mesurée						
Fil 0,017x0,025	2,3 ⁰	3,5 ⁰	2,3 ⁰	4,0 ⁰	2,3 ⁰	3,8 ⁰	2,3 ⁰	4,5 ⁰
Fil 0,016x0,022	5,4 ⁰	6,8 ⁰	5,4 ⁰	7,4 ⁰	5,4 ⁰	7,1 ⁰	5,4 ⁰	8,0 ⁰

Les autres facteurs identifiés dans la littérature influençant la perte de torque sont nombreux et comprennent: les standards de fabrication des fils orthodontiques et l'arrondissement de leurs angles[17, 47, 48, 53], la déformation de la lumière des boîtiers orthodontiques sous les forces utilisées[53, 57], le type de ligature[30-32, 58], la variation entre la prescription de torque réelle et rapportée[59], l'anatomie de la surface buccale de la dent[46] et la bonne mise en place du boîtier[46]. Ces facteurs n'ont pas été considérés dans ce projet de recherche et leur impact doit donc être additionné aux mesures trouvées dans cette étude. De façon générale, un clinicien expérimenté utilisant des boîtiers 0,018" s'attend à une certaine perte de torque en fonction de la différence entre la coupe transversale du fil utilisé et la grandeur de la lumière du boîtier. À la lumière des résultats obtenus, dû aux standards de fabrication des boîtiers, il faut dorénavant ajouter à cette perte de torque attendue jusqu'à 2,2⁰ avec l'utilisation d'un fil 0,017"x0,025" et 2,6⁰ avec l'utilisation d'un fil 0,016"x0,022".

Ce projet de recherche a été innovateur, car il est le premier à avoir évalué de façon précise la dimension ainsi que le profil de la lumière de boîtiers auto-ligaturants modernes de grandeur 0,457mm (0,018"). Dans cette étude, nous avons également été les premiers à combiner les avantages de l'utilisation d'un microscope à balayage électronique avec l'utilisation de plus de deux points de mesures pour évaluer le profil des boîtiers. L'utilisation du microscope à balayage électronique, tel que Bhalla et al.[51] l'avaient fait

dans leurs travaux portant sur les boîtiers 0,022", nous a permis d'obtenir des images claires et précises à un grossissement de 150X, facilitant ainsi la prise de données. L'utilisation de plusieurs points de mesures, pas seulement au fond et à l'entrée de la lumière, nous a permis d'évaluer de façon précise le profil de la lumière ainsi que la linéarité de ses parois. Major et al.[50] en 2010 avaient d'ailleurs été les premiers à utiliser plus de deux points de référence pour évaluer la morphologie de certains boîtiers 0,022".

Ce projet comporte cependant certaines limitations. La plus importante est celle reliée au montage des échantillons lors de la prise d'image avec le microscope. Si le boîtier, lors de la prise d'image, est incliné et que la lumière n'est pas parfaitement à 90° par rapport à l'optique du microscope, des altérations dans la mesure de la hauteur surviendront. La deuxième limitation principale est l'utilisation de boîtiers d'une seule dent, soit la #21 à des fins de standardisation. Nous ne pouvons donc qu'inférer que nos résultats sont transposables aux boîtiers des autres dents. Finalement, en ne mesurant la hauteur de la lumière que sur sa surface distale du boîtier, nous assumons que la hauteur est constante sur toute la largeur mésio-distale du boîtier.

La prochaine étape dans la recherche serait d'évaluer plusieurs boîtiers de différentes dents et d'utiliser un échantillon composé de boîtiers provenant de différents lots de fabrication. Ceci nous permettrait de déterminer si les hauteurs moyennes sont constantes au niveau des boîtiers de différentes dents ainsi qu'entre certains lots de fabrication. Finalement, la comparaison par un même groupe de recherche entre l'utilisation d'une jauge à feuille et la technique de mesure par microscope pourrait également être intéressante; nous pourrions ainsi comparer précisément les résultats obtenus et l'efficacité de ces deux méthodes.

4.7. Conclusion

Le but de cette recherche était d'évaluer la hauteur ainsi que le profil de la lumière de différents boîtiers auto-ligaturants de grandeur 0,018" provenant de quatre manufacturiers populaires. Voici les conclusions que nous en avons tirées :

- 1- La lumière des quatre types de boîtiers de centrale supérieure gauche étudiés est surdimensionnée en moyenne entre 2,7% et 5,0% dépendamment du manufacturier.
- 2- Il existe une différence statistiquement significative entre la hauteur des boîtiers SmartClip et celle des trois autres manufacturiers.
- 3- Il n'y a pas de standard entre les compagnies quant au parallélisme des parois de la lumière de leurs boîtiers; certains sont convergents, d'autres divergents. Aucun boîtier n'avait des parois parallèles.
- 4- Ces variations au niveau des standards de fabrication des boîtiers orthodontiques engendrent une perte de torque supplémentaire de quelques degrés par rapport à la valeur nominale de 0,457mm.

4.8. Remerciements

Nous offrons un remerciement spécial à toute l'équipe du laboratoire de la Faculté de Médecine dentaire de l'Université de Montréal et plus particulièrement à Dre Rima Wazen et Mme Sylvia Francis Zalzal pour leur aide avec la manipulation du microscope électronique. Également, nous remercions les compagnies GAC, Ortho Organiser, Strite Industries et 3M Unitek pour avoir fourni gratuitement les boîtiers utilisés dans cette étude.

5. Discussion

5.1. Intérêt clinique

Ce projet de recherche a été innovateur, car il est le premier à avoir évalué de façon précise la dimension ainsi que le profil de la lumière de boîtiers auto-ligaturants modernes de grandeur 0,457mm(0,018"). Dans cette étude, nous avons également été les premiers à combiner les avantages de l'utilisation d'un microscope à balayage électronique avec l'utilisation de plus de deux points de mesures pour évaluer le profil des boîtiers.

Tel que mentionné dans l'article, de façon générale, nos résultats vont dans le même sens que les autres études ayant été faites sur les boîtiers de grandeur 0,018" et 0,022". Au niveau de la hauteur verticale de la lumière, les manufacturiers semblent en général surdimensionner cette valeur lors du processus de fabrication et ne pas respecter la valeur de référence. Nous avons démontré qu'il y avait une différence statistiquement significative entre la valeur de référence de 0,018" et la hauteur moyenne des boîtiers des quatre manufacturiers étudiés avec un $p < 0,001$. Les écarts moyens trouvés dans ce projet portant sur quatre types de boîtiers auto-ligaturants de grandeur 0,018" se situent entre +2,7% et +5,0% par rapport à la valeur de référence. Ces résultats sont plus conservateurs que ceux obtenus lors de recherches portant sur les mêmes types de boîtiers auto-ligaturants de grandeur 0,022" qui avaient trouvé des variations allant de -3,6% à +15,0%[17, 50, 51]. La différence entre les hauteurs moyennes des boîtiers 0,018" des quatre manufacturiers, par rapport à la valeur annoncée, semble donc moins grande qu'au niveau des boîtiers 0,022". Similairement à l'étude de Bhalla et al. conduite en 2010, il a été démontré que les boîtiers SmartClip de grandeur 0,018" avaient une lumière légèrement plus grande que les trois autres manufacturiers[51].

Pour ce qui est du parallélisme entre les parois gingivales et occlusales, nous notons beaucoup de variation d'un manufacturier à l'autre, allant de la convergence à la divergence, ce qui correspond également à ce qui est mentionné dans la littérature[52].

Au niveau des impacts cliniques de ces résultats, selon nos calculs, il faut ajouter entre $1,2^{\circ}$ et $2,6^{\circ}$ à la perte de torque anticipée si l'on veut tenir compte des standards de fabrication des boîtiers. Cette différence semble minime, mais une fois ajoutée aux autres facteurs influençant la perte de torque, elle peut contribuer aux mauvais alignements de certaines dents, notamment lorsque nous savons qu'une différence de quelques degrés peut engendrer une non-concordance des bouts incisifs[49].

5.2. Limitations de l'étude

Ce projet comporte cependant certaines limitations. La plus importante est celle reliée au montage des échantillons lors de la prise d'image avec le microscope. Tous les projets ayant utilisé un microscope optique ou à balayage électronique pour mesurer la lumière des boîtiers partagent cette limitation. En effet, si le boîtier lors de la prise d'image est le moins incliné et que la lumière n'est pas parfaitement à 90° par rapport à l'optique du microscope, des altérations dans la mesure de la hauteur surviendront. Ceci en fait donc une technique coûteuse en temps. Une partie de l'écart type sur les différentes mesures peut donc être attribuable au positionnement des boîtiers dans le microscope et non à leur fabrication.

La deuxième limitation principale est l'utilisation de boîtiers d'une seule dent, soit la #21. Nous nous sommes inspirés de protocoles d'autres études similaires pour le choix de cette dent et il a été décidé de n'étudier que des boîtiers d'incisives centrales supérieures gauches afin de comparer des produits équivalents d'un manufacturier à l'autre. Nous ne pouvons cependant qu'extrapoler que les mesures trouvées dans cette recherche sont transposables sur les boîtiers des autres dents.

Finalement, en ne mesurant la hauteur de la lumière que sur une de ses surfaces, ici la surface distale, nous assumons que la hauteur est constante sur toute la largeur mésio-distale du boîtier.

5.3. Avenues de recherche

La prochaine étape dans la recherche serait d'évaluer plusieurs boîtiers de différentes dents afin de compenser les faiblesses mentionnées précédemment. L'utilisation d'un échantillon composé de boîtiers provenant de différents lots de fabrication pourrait également être intéressante. Nous pourrions ainsi déterminer si les hauteurs moyennes sont constantes au niveau des boîtiers de différentes dents ainsi qu'entre certains lots de fabrication.

La comparaison par un même groupe de recherche entre l'utilisation d'une jauge à feuille et la technique de mesure par microscope pourrait également être pertinente. Ainsi, nous pourrions comparer précisément les résultats obtenus avec ces deux méthodes et déterminer si une méthode est plus précise qu'une autre.

Finalement, ce projet pourrait être refait avec des boîtiers provenant d'autres manufacturiers que ceux étudiés afin d'en connaître la précision de fabrication. Les nouveaux boîtiers Empower de la compagnie American Orthodontics arrivés sur le marché il y a un peu plus d'un an en sont un exemple.

6. Conclusion

Le but de cette recherche était d'évaluer la hauteur ainsi que le profil de la lumière de différents boîtiers auto-ligaturants de grandeur 0,018" provenant de quatre manufacturiers populaires. Voici les conclusions que nous en avons tirées :

- 1- La lumière des quatre types de boîtiers de centrale supérieure gauche étudiés est surdimensionnée en moyenne entre 2,7% et 5,0% dépendamment du manufacturier.
- 2- Il existe une différence statistiquement significative entre la hauteur des boîtiers SmartClip et celle des trois autres manufacturiers.
- 3- Il n'y a pas de standard entre les compagnies quant au parallélisme des parois de la lumière de leurs boîtiers; certains sont convergents, d'autres divergents. Aucun boîtier n'avait des parois parallèles.
- 4- Ces variations au niveau des standards de fabrication des boîtiers orthodontiques engendrent une perte de torque supplémentaire de quelques degrés par rapport à la valeur nominale de 0,457mm.

Bibliographie

1. Creekmore, T.D., *Dr. Thomas D. Creekmore on torque*. J Clin Orthod, 1979. **13**(5): p. 305-10.
2. Angle, E., *Treatment of malocclusion of the teeth*. 1907, Philadelphia: SS White.
3. Kusy, R.P., *Orthodontic biomaterials: from the past to the present*. Angle Orthod, 2002. **72**(6): p. 501-12.
4. Proffit, W.R., *Contemporary Orthodontics*. 4e ed. 2007, Chapel Hill: Mosby Elsevier.
5. Begg, R., *Begg Orthodontic Theory and Technique*. 1977, Philadelphia: Saunders.
6. Angle, E., *The latest and the best in orthodontic mechanisms*. Dent Cosmos, 1928. **70**: p. 1143-1158.
7. Tweed, C.H., *Reports of cases treated with the edgewise arch mechanism*. Angle Orthod, 1932. **2**(4): p. 235-243.
8. Tweed, C.H., *The application of the principles of the edgewise arch in treatment of Class II, Division I, part I*. Angle Orthod, 1936. **6**(3): p. 198-208.
9. Tweed, C.H., *The application of the principles of the edgewise arch in treatment of Class II, Division I, part II*. Angle Orthod, 1936. **6**(4): p. 255-257.
10. Graber, L.W., *Orthodontics, Current Principles and Techniques*. 5e ed. 2012, Vernon Hills: Elsevier.
11. Remise, C., *Note de cours Biomécanique dentaire I et II (SAB-6367 et SAB-6368)*. 2011, Université de Montréal: Montréal.
12. Andrews, L.F., *The straight-wire appliance. Explained and compared*. J Clin Orthod, 1976. **10**(3): p. 174-95.
13. Andrews, L.F., *The straight-wire appliance, origin, controversy, commentary*. J Clin Orthod, 1976. **10**(2): p. 99-114.
14. Gottlieb, E.L., A.H. Nelson, and D.S. Vogels, *1986 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures. Part 2. Selected breakdowns*. J Clin Orthod, 1986. **20**(10): p. 694-709.

15. Andrews, L.F., *The six keys to normal occlusion*. Am J Orthod, 1972. **62**(3): p. 296-309.
16. Andrews, L.F., *Straight Wire The Concept and Appliance*. 1989, San Diego: L.A.Wells Co. 406.
17. Joch, A., M. Pichelmayer, and F. Weiland, *Bracket slot and archwire dimensions: manufacturing precision and third order clearance*. J Orthod, 2010. **37**(4): p. 241-9.
18. Roth, R.H., *The straight-wire appliance 17 years later*. J Clin Orthod, 1987. **21**(9): p. 632-42.
19. McLaughlin, R.P., *Systemized orthodontic treatment mechanics*. 2001, Edinburgh: Mosby.
20. Alexander, R.G., *The 20 principles of the Alexander Discipline*. 2008, Dallas: Quintessence. 228.
21. Buonocore, M.G., *A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces*. J Dent Res, 1955. **34**(6): p. 849-53.
22. Eliades, T., *Orthodontic materials research and applications: part 1. Current status and projected future developments in bonding and adhesives*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2006. **130**(4): p. 445-51.
23. Brantley, W.A., *Orthodontic Materials, Scientific and Clinical Aspects*. 2001, New-York: Thieme. 310.
24. Menezes, L.M., et al., *Hypersensitivity to metals in orthodontics*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2004. **126**(1): p. 58-64.
25. Kusy, R.P., *Clinical response to allergies in patients*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2004. **125**(5): p. 544-7.
26. Eliades, T., *Orthodontic materials research and applications: part 2. Current status and projected future developments in materials and biocompatibility*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2007. **131**(2): p. 253-62.
27. Eliades, T., et al., *Plastic brackets: hardness and associated clinical implications*. World J Orthod, 2004. **5**(1): p. 62-6.
28. Bishara, S.E. and D.E. Fehr, *Ceramic brackets: something old, something new, a review*. Semin Orthod, 1997. **3**(3): p. 178-88.
29. Zinelis, S., et al., *Elemental composition of brazing alloys in metallic orthodontic brackets*. Angle Orthod, 2004. **74**(3): p. 394-9.

30. Morina, E., et al., *Torque expression of self-ligating brackets compared with conventional metallic, ceramic, and plastic brackets*. Eur J Orthod, 2008. **30**(3): p. 233-8.
31. Archambault, A., et al., *Torque expression in stainless steel orthodontic brackets. A systematic review*. Angle Orthod, 2010. **80**(1): p. 201-10.
32. Badawi, H.M., et al., *Torque expression of self-ligating brackets*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2008. **133**(5): p. 721-8.
33. Chen, S.S., et al., *Systematic review of self-ligating brackets*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2010. **137**(6): p. 726 e1-726 e18; discussion 726-7.
34. Taloumis, L., *Force decay and deformation of orthodontic elastomeric ligatures*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1997. **111**: p. 1-11.
35. Pellegrini, P., et al., *Plaque retention by self-ligating vs elastomeric orthodontic brackets: quantitative comparison of oral bacteria and detection with adenosine triphosphate-driven bioluminescence*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2009. **135**(4): p. 426 e1-9; discussion 426-7.
36. Stolzenberg, J., *The Russel attachment and its improved advantages*. Int J Orthod Dent Child, 1935. **21**: p. 837-840.
37. Ehsani, S., et al., *Frictional resistance in self-ligating orthodontic brackets and conventionally ligated brackets. A systematic review*. Angle Orthod, 2009. **79**(3): p. 592-601.
38. Thomas, S., M. Sherriff, and D. Birnie, *A comparative in vitro study of the frictional characteristics of two types of self-ligating brackets and two types of pre-adjusted edgewise brackets tied with elastomeric ligatures*. Eur J Orthod, 1998. **20**(5): p. 589-96.
39. Pizzoni, L., G. Ravnholt, and B. Melsen, *Frictional forces related to self-ligating brackets*. Eur J Orthod, 1998. **20**(3): p. 283-91.
40. Thorstenson, G.A. and R.P. Kusy, *Resistance to sliding of self-ligating brackets versus conventional stainless steel twin brackets with second-order angulation in the dry and wet (saliva) states*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2001. **120**(4): p. 361-70.
41. Harradine, N.W., *Self-ligating brackets: where are we now?* J Orthod, 2003. **30**(3): p. 262-73.
42. Burstone, *Modern Edgewise Mechanics and The Segmented Arch Technique*. 1995, Farmington: Department of Orthodontics University of Connecticut.

43. Meling, T.R., J. Odegaard, and D. Seqner, *On bracket slot height: a methodologic study*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1998. **113**(4): p. 387-93.
44. Gianelly, A.A., J.R. Bednar, and V.S. Dietz, *A bidimensional edgewise technique*. J Clin Orthod, 1985. **19**(6): p. 418-21.
45. Kusy, R.P., *"Two" much of a good thing? Then let's pick one slot size and make it metric*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2002. **121**(4): p. 337-8.
46. Creekmore, T.D. and R.L. Kunik, *Straight wire: the next generation*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1993. **104**(1): p. 8-20.
47. Sebanc, J., et al., *Variability of effective root torque as a function of edge bevel on orthodontic arch wires*. Am J Orthod, 1984. **86**(1): p. 43-51.
48. Kusy, R.P. and J.Q. Whitley, *Assessment of second-order clearances between orthodontic archwires and bracket slots via the critical contact angle for binding*. Angle Orthod, 1999. **69**(1): p. 71-80.
49. Siatkowski, R.E., *Loss of anterior torque control due to variations in bracket slot and archwire dimensions*. J Clin Orthod, 1999. **33**(9): p. 508-10.
50. Major, T.W., et al., *Orthodontic Bracket Manufacturing Tolerances and Dimensional Differences between Select Self-Ligating Brackets*. J Dent Biomech, 2010. **2010**: p. 781321.
51. Bhalla, N.B., et al., *Assessment of slot sizes in self-ligating brackets using electron microscopy*. Aust Orthod J, 2010. **26**(1): p. 38-41.
52. Cash, A.C., et al., *An evaluation of slot size in orthodontic brackets--are standards as expected?* Angle Orthod, 2004. **74**(4): p. 450-3.
53. Fischer-Brandies, H., et al., *Torque transmission between square wire and bracket as a function of measurement, form and hardness parameters*. J Orofac Orthop, 2000. **61**(4): p. 258-65.
54. Raphael, E., J.L. Sandrik, and L. Klapper, *Rotation of rectangular wire in rectangular molar tubes. Part I*. Am J Orthod, 1981. **80**(2): p. 136-44.
55. Lang, R.L., J.L. Sandrik, and L. Klapper, *Rotation of rectangular wire in rectangular molar tubes. Part II. Pretorqued molar tubes*. Am J Orthod, 1982. **81**(1): p. 22-31.
56. Meling, T., et al., *A formula for the displacement of an arch wire when subjected to a second-order couple*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1998. **113**(6): p. 632-40.

57. Major, T.W., et al., *An investigation into the mechanical characteristics of select self-ligated brackets at a series of clinically relevant maximum torquing angles: loading and unloading curves and bracket deformation*. Eur J Orthod, 2011.
58. Major, T.W., et al., *Mechanical effects of third-order movement in self-ligated brackets by the measurement of torque expression*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2011. **139**(1): p. e31-44.
59. Gioka, C. and T. Eliades, *Materials-induced variation in the torque expression of preadjusted appliances*. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2004. **125**(3): p. 323-8.