

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2019

N°15

THESE

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Le 21 février 2019

par

Raphaëlle MAIZERAY

Née le 11 juillet 1993 à Caen

COMPARAISON DES ATTACHES AUTO-LIGATURANTES PASSIVES, AUTO-LIGATURANTES ACTIVES ET CONVENTIONNELLES : REVUE DE LA LITTERATURE

Président : Monsieur le Professeur Olivier HUCK

Assesseurs : Monsieur le Docteur Yves BOLENDER

Madame le Docteur Sophie JUNG

Madame le Docteur Delphine WAGNER

Membre invité : Madame le Docteur Hélène BENICHOU-LEVY

A Monsieur le Président du jury,

Professeur Olivier HUCK

Professeur des Universités

Praticien hospitalier

Sous-section de Parodontologie, UFR d'Odontologie de Strasbourg

*Merci de m'avoir fait l'honneur et le plaisir de présider ce jury de thèse.
Veuillez-trouver ici l'expression de ma reconnaissance et sincère estime.*

A ma directrice de thèse,

Docteur Delphine Wagner

Maître de Conférence des Universités – Praticien hospitalier

Sous-section d'Orthopédie Dento-Faciale ; UFR d'Odontologie de Strasbourg

Merci de m'avoir fait l'honneur et le plaisir de diriger ce travail.

Merci d'avoir contribué au travail sur les attaches auto-ligaturantes avant moi.

Je suis heureuse d'avoir poursuivi la recherche sur ce sujet à vos côtés.

*Merci pour vos conseils éclairés, votre écoute attentive et votre grande disponibilité
au service durant mon cursus d'interne.*

A mon directeur de thèse,

Docteur Yves BOLENDER

Maître de Conférences des Universités - Praticien hospitalier

Sous section d'Orthopédie Dento-Faciale ; UFR d'Odontologie de Strasbourg

Merci de m'avoir fait l'honneur et le plaisir de diriger ce travail.

Merci d'avoir contribué à ce travail sur les attaches auto-ligaturantes avant moi.

Je suis heureuse d'avoir poursuivi la recherche sur ce sujet à vos côtés.

*Merci pour votre investissement, l'abondance des connaissances orthodontiques que
vous nous transmettez, et votre remarquable pédagogie.*

*L'enseignement que vous m'avez donné est une richesse qui m'accompagnera tout
au long de ma carrière.*

A ma juge de thèse,

Docteur Sophie JUNG

Maître de Conférences des Universités – Praticien hospitalier

Sous section d'Odontologie Pédiatrique ; UFR d'Odontologie de Strasbourg

*Merci de m'avoir fait l'honneur et le plaisir de participer au jury de cette thèse.
Veuillez trouver ci-joint l'expression de ma reconnaissance et sincère estime.*

A ma juge de thèse,

Docteur Hélène Bénichou-Lévy,

Attaché hospitalier

Structure interne d'Orthopédie Dento-Faciale

*Merci de m'avoir fait l'honneur et le plaisir de participer au jury de cette thèse,
Vous êtes la première interne à avoir débuté cette méta-analyse sur les auto-
ligaturants à Strasbourg, et je suis heureuse d'avoir poursuivi la recherche sur ce
sujet.*

*Je vous remercie pour votre grande sympathie et votre sens clinique, qui constituent
une aide précieuse au service.*

A mes parents, merci d'avoir été là chaque jour. Vous m'avez transmis ce goût du travail et appris de belles valeurs. Votre amour inébranlable et votre soutien sans faille m'ont permis d'aboutir à ce long parcours universitaire. Je vous dois tout. Un grand bravo à tous les deux.

A mes frères et sœurs, à cette enfance heureuse que nous avons partagée. Vous m'apportez beaucoup. Je vous aime tous profondément.

A Mamée, pour laquelle les études de ses petits-enfants ont tant d'importance.

A PapaMi, merci d'avoir traversé la France pour assister à cette soutenance de thèse. MamanSi aurait adoré être ici et nous pensons bien à elle.

A ma marraine Isabelle, ma bonne étoile.

A tous mes oncles et tantes, cousins et cousines.

A Claire, merci d'avoir été la meilleure coéquipière de la PACES.

A mes amis normands, Agathe, Manon, Alexandre, Julie, Margaux. Merci pour ces beaux moments partagés et tous ceux qui suivront.

A mes amis rencontrés en Bretagne, en particulier Victoria, Camille et Bérangère, grâce auxquelles ces années dentaires resteront inoubliables. Je sais que nous n'en resteront pas là.

A Mailys et Valérie, notre amitié m'est précieuse. Merci d'avoir été là pour moi depuis mon arrivée en Alsace.

A mes co-internes, en particulier Elyette, Damien, Clémence, Marion, Gauthier, Frédéric, Nicolas, Noémie. Merci pour ces échanges autour de l'orthodontie et ces beaux moments partagés par ailleurs.

A mes enseignants. Merci pour ce travail productif et enrichissant que nous réalisons ensemble.

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2019

N°15

THESE

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Le 21 février 2019

par

Raphaëlle MAIZERAY

Née le 11 juillet 1993 à Caen

COMPARAISON DES ATTACHES AUTO-LIGATURANTES PASSIVES, AUTO-LIGATURANTES ACTIVES ET CONVENTIONNELLES : REVUE DE LA LITTERATURE

Président : Monsieur le Professeur Olivier HUCK

Assesseurs : Monsieur le Docteur Yves BOLENDER

Madame le Docteur Sophie JUNG

Madame le Docteur Delphine WAGNER

Membre invité : Madame le Docteur Hélène BENICHOU-LEVY

Sommaire

Table des figures :	4
Table des tableaux :	6
I. Introduction	8
II. Définitions	9
2.1. Attaches conventionnelles	9
2.2. Attaches auto-ligaturantes passives	11
2.3 Attaches auto-ligaturantes actives	11
III. Historique – Des premiers appareils orthodontiques à l’émergence des brackets auto-ligaturants	12
IV Les attaches auto-ligaturantes actuelles	26
4.1. Arguments commerciaux avancés par les laboratoires distributeurs	26
4.1.1. Communs aux systèmes actifs et passifs.....	26
4.1.2. Propres aux systèmes auto-ligaturants passifs.....	26
4.1.3. Propres aux systèmes auto-ligaturants actifs.....	26
4.2. Les différents brackets auto-ligaturants passifs disponibles sur le marché actuel	27
4.2.1. Le bracket Damon®.....	27
4.2.2. Le bracket Smart Clip®.....	29
4.2.3. Le bracket Empower®.....	30
4.3. Les différents brackets auto-ligaturants actifs disponibles sur le marché actuel	31
4.3.1. Le bracket In-Ovation®.....	31
4.3.2. Le bracket Empower®.....	33
4.3.3. Le bracket SPEED ®.....	34
V. Revue systématique de la littérature comparant les attaches conventionnelles, auto-ligaturantes passives et actives	36
5.1. Objectifs :	37

5.2.	<i>Paramètres étudiés</i> :	38
5.3.	<i>Critères d'inclusion</i> :	39
5.4.	<i>Critères d'exclusion</i> :	39
5.5.	<i>Analyse statistique</i> :	40
5.6.	<i>Résultats</i> :	41
5.5.1.	Flow chart :	41
5.5.2.	Durée du traitement et nombre de rendez-vous :	43
5.5.3.	Temps pour ligaturer et déposer les ligatures :	45
5.5.4.	Résistance au glissement :	47
5.5.5.	Alignement dentaire :	52
5.5.6.	Fermeture des espaces d'extraction	53
5.5.5.	Résultats occlusaux (indice d'irrégularité) :	55
5.5.7.	Dimensions transversales :	57
5.5.8.	Contrôle du torque antérieur :	59
5.5.9.	Résorptions radiculaires :	62
5.5.10.	Taux de décollement des attaches :	64
5.5.11.	Lésions carieuses :	65
5.5.12.	Santé parodontale :	65
5.5.13.	Confort pour le patient :	67
5.5.14.	Evaluation des résultats :	69
5.5.15.	Enquête sur les pratiques des praticiens : comparaison des brackets conventionnels versus les brackets auto-ligaturants :	70
VI.	<i>Discussion</i>	71
VII.	<i>Conclusions</i>	76
VIII.	<i>Bibliographie</i>	77

Table des figures :

Figure 1 : Trois types de brackets disponibles sur le marché (images issues de la thèse de Sciences de Delphine Wagner, 2018).....	9
Figure 2 : Bracket edgewise (issue de Planche P. ; EMC, 1995)	10
Figure 3 : Tableau récapitulatif des différentes prescriptions utilisées par les orthodontistes aux USA, sondage de 2014 (Keim <i>et al.</i>).....	10
Figure 4 : Clichés réalisés par microscopie à balayage électronique de divers brackets auto-ligaturants actifs et passifs, avec des arcs 0.014 (boîtier passif) et des arcs 0.019x0.025 dans des brackets de dimensions 0.022x0.028 inch (boîtier actif pour les brackets In-Ovation® et SPEED®) (issus de Thorstenson et Kusy 2002 (3))...	12
Figure 5 : L'appareil orthodontique d'après Pierre Fauchard (Angle, 1907)	12
Figure 6 : Le tube ouvert selon Case, soudé à différents niveaux selon les cas (3)..	13
Figure 7 : « E-arch » (issus de Angle, 1907, cité par Vaden et coll. 1994).....	13
Figure 8 : l'appareil pin and tube d'Angle (d'après Steiner 1933, cité par Vaden et coll. 1994)	13
Figure 9 (à gauche) : le ribbon arch ; Figure 10 (à droite) : le système edgewise d'origine (d'après Steiner 1933, cité par Vaden et coll. 1994).....	14
Figure 11 : système de tube ouvert de James Mc Coy (issu de Wahl, AJODO 2005).....	15
Figure 12 (à gauche) : le Russel attachment ; (à droite) : schéma du Russel Lock : ouvert/fermé (9), (issue de Berger, JCO, 2000) (13).....	15
Figure 13 : attaches de Boyd (gauche) et de Ford (droite) (2).....	15
Figure 14 : technique de Begg (d'après Begg 1972 cité par Vaden et coll. 1994).....	16
Figure 15 : le bracket Edge Lock® (issue de Berger, JCO, 2000) (13)	17
Figure 16 : le Mobil Lock® (issue de Berger, JCO, 2000) (13).....	17
Figure 17 : attache auto-ligaturante Speed® (Hanson, 1980) ((21) ; (issue de Berger, JCO, 2000) (13)	18
Figure 18 : le bracket Activa® (issue de Berger, JCO, 2000) (13).....	19
Figure 19 : Bracket Time® (13)	19
Figure 20 : Système auto-ligaturant Damon SL® (29).....	20
Figure 21 : Bracket SL I de Damon® (13)	20
Figure 22 : Damon SL II® (11)	21
Figure 23 : Bracket Twin Lock® (13).....	21

Figure 24 : Bracket In-Ovation R® (14).....	22
Figure 25 : Attache Opal® (issue de la thèse de Matthieu Hutin) (33)	22
Figure 26 : Bracket SmartClip® (issue du catalogue 3M).....	22
Figure 27 : Bracket Quick® (issue du catalogue Forestadent)	23
Figure 28 : Bracket SLX de Carriere® (issue du catalogue Carriere).....	23
Figure 29 : Bracket Vision LP® (American Orthodontics, source Sylvain Chamberland).....	23
Figure 30 : Attache Discovery® (Dentaurum) (issue du catalogue Dentaurum).....	24
Figure 31 : Bracket Damon Q® (source : Catalogue Ormco).....	27
Figure 32 : Damon 3MX® (figure de gauche) et comparaison du profil et des dimensions verticales des brackets Damon 3MX® et Damon Q® (figure de droite) (source catalogue Ormco).....	28
Figure 33 : Damon 3® (source catalogue Ormco).....	28
Figure 34 : Damon clear 2® (source : catalogue Ormco).....	28
Figure 35 : Bracket SmartClip SL®, vue de profil du bracket (19), (36), (37)	29
Figure 36 : Bracket Clarity ADVANCED® et le bracket Clarity Ultra self-ligating (source : catalogue 3M)	29
Figure 37 : Bracket Empower® (source : catalogue American Orthodontics)	30
Figure 38 : Bracket Empower invisible® (source : catalogue American Orthodontics).....	31
Figure 39 : Bracket In-Ovation R® (19).....	31
Figure 40 : Bracket In-Ovation C® (issue du catalogue GAC)	33
Figure 41 : Bracket Empower et le concept « Dual Activation » (site internet American Orthodontics).....	34
Figure 42 : Bracket SPEED® (source Catalogue Speedbrackets).....	34
Figure 43 : Pyramide de la preuve (d'après Yves Bolender, <i>Les attaches auto-ligaturantes sont-elles plus efficaces que les boitiers traditionnels? Revue systématique de la littérature et méta-analyse</i>).....	36
Figure 45 : Comparaisons directes et indirectes (Pandis, 2014) (41).....	41
Figure 46 : Diagramme de flux de la sélection des articles	43
Figure 47 : Modèle expérimental <i>in-vitro</i> : 3 brackets sont alignés avec l'arc (Rozzi)48	
Figure 48 : Etude de Thorstenson et Kusy (issue de Burrow 2009)	50

Table des tableaux :

Tableau 1 : Historique des différents systèmes auto-ligaturants25

Tableau 2 : Description des critères PICO (Population Intervention Comparison Outcome)37

“We should wait for evidence before adopting new techniques, philosophies or paradigms.”

Pr Kevin O’Brien

I. Introduction

Depuis le début du XX^{ième} siècle, les traitements orthodontiques par multi-attaches permettent une correction des malocclusions. Des arcs orthodontiques positionnés dans les gorges des attaches, solidarisées à la surface des dents, sollicitent les différentes unités dentaires pour obtenir leur déplacement. Le système multi-attaches avec ligature conventionnelle a vu le jour au début du XX^{ième} siècle, avec d'abord un système de bagues sertissant les dents, et servant de support à des attaches soudées. Les techniques de collage sont introduites dans les années 1970, elles vont permettre de s'affranchir des bagues et de coller directement des brackets à la surface des dents. Le premier système de bracket s'affranchissant de toute ligature, nommé bracket auto-ligaturant, a été introduit par Stolzenberg en 1935. Sa mise sur le marché s'est effectuée bien plus tard, en 1980. Ces brackets se divisent en **deux catégories** : les attaches auto-ligurantes **actives** tout d'abord puis leur version **passive**. Ainsi, ces nouvelles attaches auto-ligurantes se sont activement développées ces quarante dernières années ; et constitueraient une petite révolution. En effet, le praticien n'est plus contraint à déposer les ligatures et à ligaturer à chaque séance. En outre, les fournisseurs de brackets auto-ligurants n'ont cessé de promouvoir leurs produits en revendiquant leurs nombreux avantages cliniques par rapport aux brackets conventionnels, encore aujourd'hui. L'orthodontiste se retrouve ainsi devant un panel de choix d'attaches à utiliser lors de ses traitements : conventionnelles, auto-ligurantes passives et auto-ligurantes actives. L'hypothèse de l'efficacité supérieure de ces attaches auto-ligurantes a largement été étudiée au travers d'études *in-vitro* et *in-vivo*. Les travaux précédents menés par les docteurs Bénichou-Lévy, Wagner et Bolender comparaient les attaches auto-ligurantes (passives et actives confondues) et les attaches conventionnelles, par le truchement d'une méta-analyse d'essais contrôlés randomisés et d'études en bouche fractionnée. Ces auteurs ont conclu que le **seul avantage des attaches auto-ligurantes** était une réduction du temps nécessaire au fauteuil pour ligaturer et déposer un arc orthodontique. Cependant, la **distinction** entre les attaches auto-ligurantes actives et les attaches auto-ligurantes passives n'avait pas été réalisée. L'objectif de cette thèse est d'entreprendre une revue de la littérature comparant les **trois types d'attaches sus-cités**. Ceci permet de fournir à l'orthodontiste les avantages et les inconvénients avérés de ces trois différents systèmes. Le mémoire présenté pour le Diplôme

d'Etudes Spécialisées en ODF est une méta-analyse en réseau sur ce même sujet, à partir des études les plus récentes, au meilleur niveau de preuve.

II. Définitions

Le bracket (Figure 1) se définit comme une attache appliquée et fixée sur la couronne d'une dent permettant à l'arc orthodontique inséré dans sa gorge d'exercer soit une force, soit un ou plusieurs couples de forces (définition issue du dictionnaire d'orthognathodontie, Société Française d'Orthopédie Dento-Faciale).

Pour maintenir l'arc en place au fond de la gorge, différents systèmes de ligatures sont disponibles, distinguant ainsi 3 types principaux d'attaches :

- les attaches conventionnelles
- les attaches auto-ligurantes passives
- les attaches auto-ligurantes actives

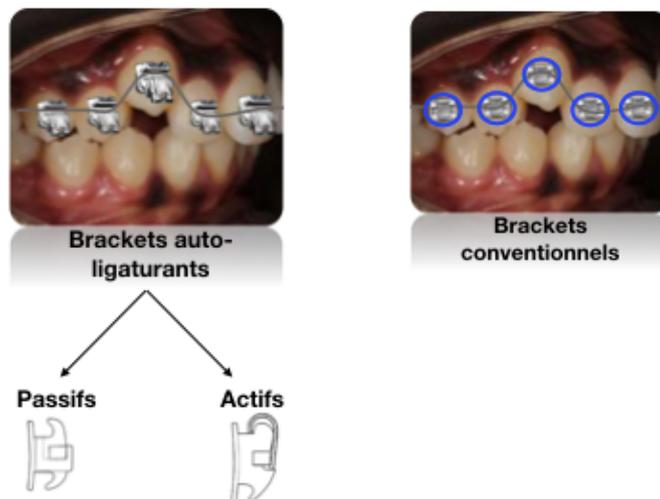


Figure 1 : Trois types de brackets disponibles sur le marché (images issues de la thèse de Sciences de Delphine Wagner, 2018)

2.1. Attaches conventionnelles

Le bracket conventionnel classique edgewise (couramment utilisé) (Figure 2) possède quatre ailettes permettant de ligaturer l'arc dans la gorge du bracket au moyen d'une ligature élastomérique ou métallique.

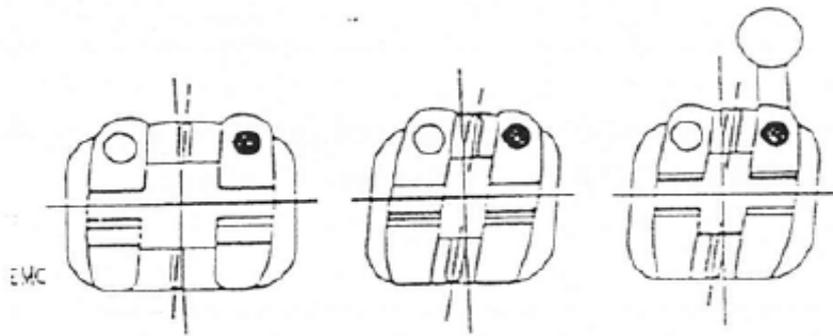


Figure 2 : Bracket edgewise (issue de Planche P. ; EMC, 1995)

Différents brackets conventionnels ont été développés successivement (cf. II. Historique). En fonction de l'inventeur, le design du bracket varie : simple plot (Tweed), ou avec ailettes (Lang, Lewis), puis le bracket double plot ou siamois (Swain 1950, Steiner) (1). Deux dimensions de lumières existent : 0.018x0.025 et 0.022x0.028. Ce développement de brackets s'est réalisé en parallèle de la technique de l'arc droit ou « straight wire », introduite par Larry Andrews en 1976. Cette technique est actuellement largement utilisée aujourd'hui dans les traitements par multi-attaches vestibulaires.

Les caractéristiques principales des brackets dépendent des dimensions et des informations contenues dans la gorge de chacun d'eux, définissant ce que l'on nomme des **prescriptions orthodontiques** (Figure 3). Il s'agit d'informations incorporées au cours de la conception et de la fabrication des attaches, qui permettent de mobiliser les dents dans les trois dimensions de l'espace.

Plusieurs types existent, chacun ayant une prescription définie dans les gorges.

Preadjusted prescription

MBT	Routinely	41	20	NA	NA
	Occasionally	10	6	NA	NA
Roth	Routinely	31	45	NA	NA
	Occasionally	11	8	NA	NA
Damon	Routinely	16	NA	NA	NA
	Occasionally	4	NA	NA	NA
Orthos	Routinely	3	5	NA	NA
	Occasionally	4	3	NA	NA
Alexander	Routinely	4	5	NA	NA
	Occasionally	1	1	NA	NA
Other	Routinely	3	11	NA	NA
	Occasionally	0	2	NA	NA
Andrews	Routinely	2	3	NA	NA
	Occasionally	1	1	NA	NA
Butterfly	Routinely	0	NA	NA	NA
	Occasionally	0	NA	NA	NA

Figure 3 : Tableau récapitulatif des différentes prescriptions utilisées par les orthodontistes aux USA, sondage de 2014 (Keim *et al.*)

Les informations de **premier ordre** correspondent aux mouvements engendrés par l'interaction entre l'arc et le bracket, déplaçant la dent dans un plan horizontal ; les mouvements s'effectuent dans le **sens vestibulo-palatin**. Le **deuxième ordre** correspond aux mouvements engendrés dans le **sens mésio-distal**. Le **troisième ordre** correspond à l'inclinaison vestibulo-linguale des dents, également appelé **torque**.

2.2. Attaches auto-ligaturantes passives

Le bracket auto-ligaturant n'a pas besoin de ligature pour retenir l'arc au fond de la gorge, un clapet de fermeture fait partie intégrante de son anatomie. Celui-ci est comme un couvercle qui se referme sur la gorge et crée ainsi un tube.

Ces brackets auto-ligaturants sont dits « passifs » car lorsque l'arc est inséré au fond du bracket, aucune force active n'est exercée par le clip lui-même sur l'arc (Ludwig et Bister (2)). Nous allons détailler en partie 4.2 les principaux brackets auto-ligaturants passifs utilisés aujourd'hui.

2.3 Attaches auto-ligaturantes actives

Dans les systèmes auto-ligaturants actifs, le clip est conçu pour bloquer activement le fil dans la gorge du bracket lors du verrouillage du mécanisme (Ludwig et Bister (2)). Ainsi, le clip contraint l'arc contre la base de la gorge et crée un couple de forces même si l'arc est légèrement sous-dimensionné par rapport aux dimensions de la gorge du bracket (

Figure 4).

Nous allons détailler en partie 4.3 les principaux brackets auto-ligaturants actifs utilisés aujourd'hui.

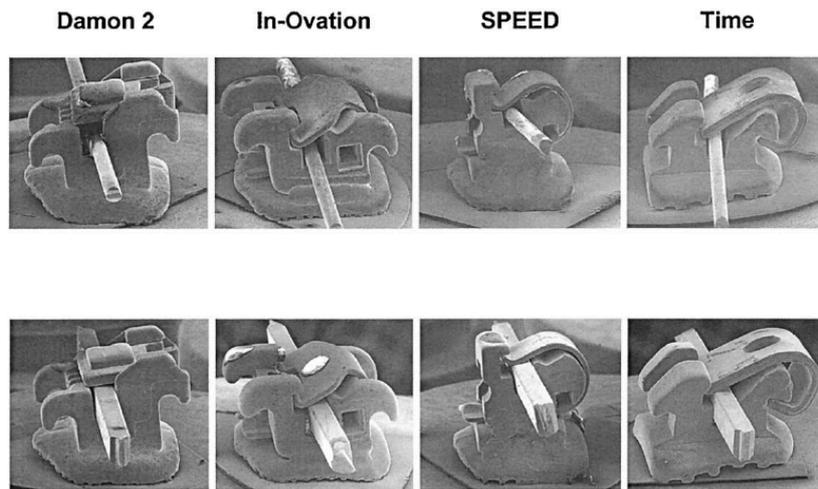


Figure 4 : Clichés réalisés par microscopie à balayage électronique de divers brackets auto-ligaturants actifs et passifs, avec des arcs 0.014 (boîtier passif) et des arcs 0.019x0.025 dans des brackets de dimensions 0.022x0.028 inch (boîtier actif pour les brackets In-Ovation® et SPEED®) (issus de Thorstenson et Kusy 2002 (3))

III. Historique – Des premiers appareils orthodontiques à l'émergence des brackets auto-ligaturants

Pierre Fauchard (1678-1761), dentiste français, a été le premier à décrire une technique, dite du bandeau, permettant d'aligner les dents (Figure 5).

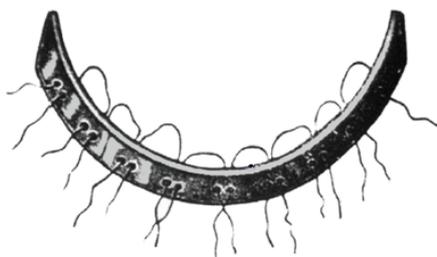


Figure 5 : L'appareil orthodontique d'après Pierre Fauchard (Angle, 1907)

Un siècle plus tard, en 1896, un système de « tube ouvert » fut introduit par Case (4): d'abord un tube vestibulaire en or ou maillechort soudé sur la bague, où est introduit un fil rond ; puis un système de levier associé à deux arcs permettant le contrôle du torque incisif (Figure 6).

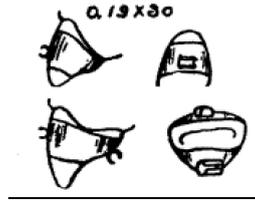


Figure 6 : Le tube ouvert selon Case, soudé à différents niveaux selon les cas (3)

En 1899, Edward Angle introduit le **Expansion-arch** (ou E-arch) (5) (Figure 7).

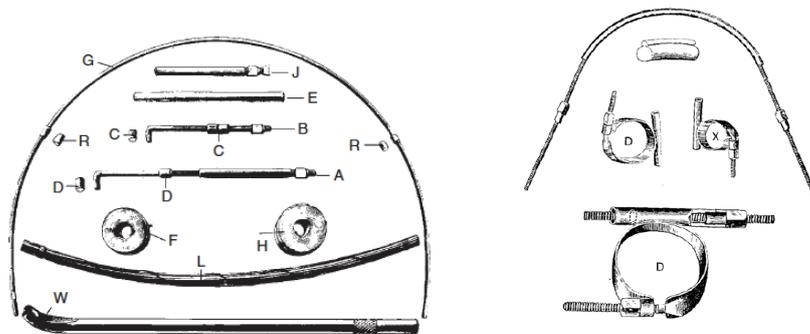


Figure 7 : « E-arch » (issus de Angle, 1907, cité par Vaden et coll. 1994)

Celui-ci permettait seulement des versions coronaires, sans possibilité de mobiliser la racine, ce qui impliquait des résultats moins stables. C'est pourquoi le « **pin and tube appliance** » apparaît en 1912 (6). C'est un bracket à gorge verticale dans laquelle un arc, correspondant à la malocclusion, est tenu en place par une goupille en cuivre. Chaque tube est soudé individuellement sur chaque bague pour obtenir le mouvement souhaité ; et cela à chaque rendez-vous. C'est le premier mécanisme permettant de mobiliser la racine. Cependant, cette technique chronophage n'a pas rencontré de succès (Figure 8).

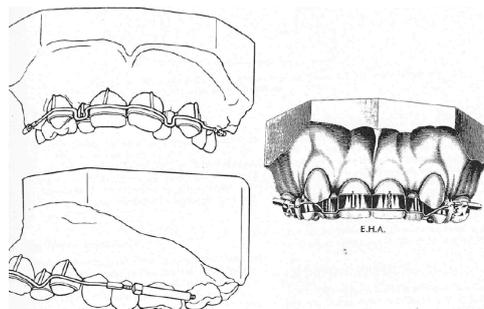


Figure 8 : l'appareil pin and tube d'Angle (d'après Steiner 1933, cité par Vaden et coll. 1994)

De plus, un manque de contrôle du sens vertical lié aux arcs ronds amène Angle à développer un nouveau système en 1916 (7) : le **Ribbon arch** ou « arc à rubans » (Figure 9). **C'est grâce à celui-ci que les brackets sont introduits.** Ce système utilisait des brackets passifs munis de gorges rectangulaires, s'ouvrant en occlusal (8). Une paroi de la gorge est formée par la face externe de la bague, l'autre paroi lui est parallèle. Le fond du bracket est percé d'un trou permettant le passage d'une épingle, appliquant l'arc vers la bague et vers le fond de la gorge pour ensuite être recourbée. Cette technologie était mieux adaptée, permettant pour la première fois des mouvements de l'arc dans les trois sens de l'espace. Mais le contrôle de l'inclinaison méso-distale des dents restait incertain.

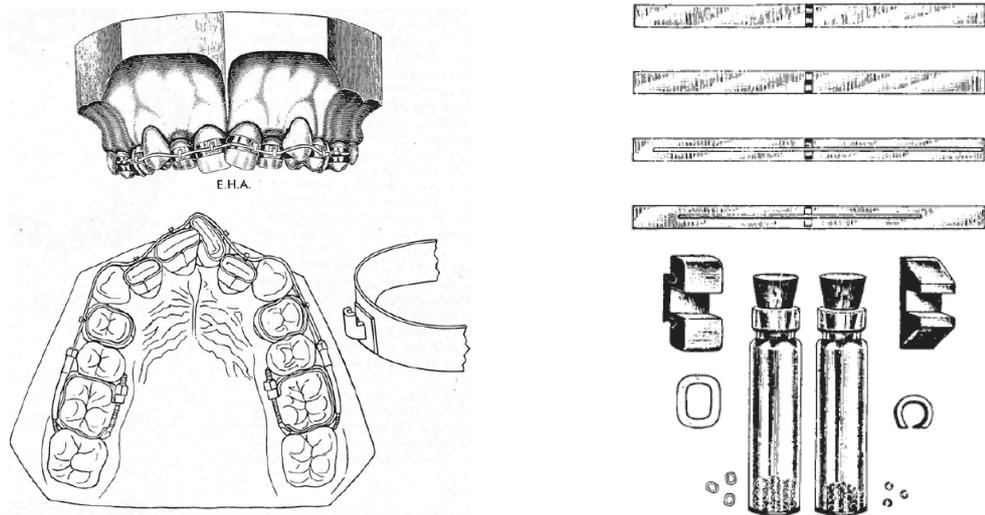


Figure 9 (à gauche) : le Ribbon Arch ; Figure 10 (à droite) : le système edgewise d'origine (d'après Steiner 1933, cité par Vaden et coll. 1994)

Pour surmonter ces difficultés, Angle développe en 1925 le **système edgewise** (Figure 10) (9) : le fil de section rectangulaire (0.022x0.028 inch) est inséré par sa petite tranche dans une gorge ouverte horizontalement, et retenue dans celle-ci par une ligature passant derrière deux ailettes. Ce système se compose de bagues adaptées sur mesure selon la morphologie de chaque dent, sur lesquelles sont fixés des brackets pour les incisives, canines, prémolaires ; et des tubes pour les molaires. Ainsi, le bracket est modifié : une gorge au centre et trois murs d'où un contrôle tridimensionnel possible (incluant le torque). **Ce sera le point de départ d'une grande série de brackets conventionnels développés en technique vestibulaire** (les brackets sont collés sur les faces vestibulaires des dents). Ce système edgewise est donc le précurseur de tous les multi-attaches modernes.

En 1922, James Mc Coy développe un appareillage avec un tube ouvert, basé sur le design du bracket de Calvin Case. Un fil 0.030x0.036 en or est inséré dans un tube rond coupé sur 40% de sa surface ce qui permet de clipser le fil dans le bracket : ceci permettait de s'affranchir d'une ligature (Figure 11).

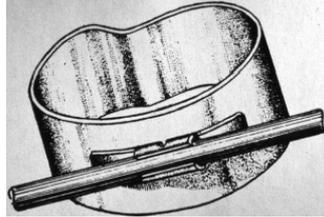


Figure 11 : système de tube ouvert de James Mc Coy (issu de Wahl, AJODO 2005)

Dans les années 1930, Stolzenberg développe le **Russel attachment** (Figure 12) (10), (11). Ce **précurseur du bracket auto-ligaturant** est constitué d'une rainure d'engagement à laquelle est fixée un écrou dans lequel une vis est serrée à l'aide d'une clé. Grâce au vissage, l'engagement de l'arc dans la gorge pouvait être modulé, rendant l'arc actif ou passif. Bien qu'ingénieux, ce système n'a pas rencontré d'engouement à cette époque et ne fut pas commercialisé (12).

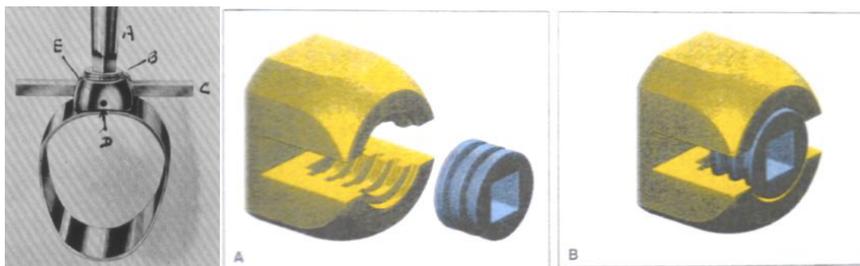


Figure 12 (à gauche) : le Russel attachment ; (à droite) : schéma du Russel Lock : ouvert/fermé (9), (issue de Berger, JCO, 2000) (13)

En 1933, Boyd et Ford avaient aussi conçu des brackets auto-ligaturants mais ceux-ci n'ont pas non plus été commercialisés (Figure 13) (2).



Figure 13 : attaches de Boyd (gauche) et de Ford (droite) (2)

En 1954, Begg propose un bracket punctiforme ressemblant à celui du Ribbon arch où le fil est inséré verticalement (Figure 14). Le recours aux fils rond acier de diamètres croissants permet d'aligner les dents avec des forces plus faibles qu'avec la technique d'edgewise. Cependant, les informations dans l'arc lors des phases de finitions s'expriment difficilement.

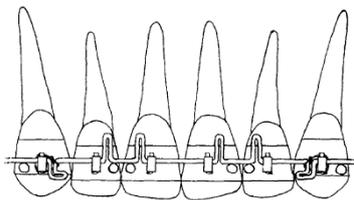


Figure 14 : technique de Begg (d'après Begg 1972 cité par Vaden et coll. 1994)

En 1963, Ricketts met au point la technique bioprogressive, dérivée de la technique edgewise. C'est une technique segmentée avec plusieurs segments d'arcs en place sur l'arcade, par opposition à la technique de l'arc droit. Les brackets qu'il conçoit pour les incisives et canines sont pré-informés car comprennent des informations de second ordre et de troisième ordre.

En 1970, Andrews met au point la « **technique de l'arc droit** » : c'est la version la plus sophistiquée de la technique edgewise et elle sera largement employée par la suite (14). A la recherche de « l'occlusion naturellement correcte », il incorpore dans les brackets de nouvelles informations : dans le sens vestibulo-lingual (premier ordre), dans le sens mésio-distal (deuxième ordre) et dans l'inclinaison vestibulo-linguale des gorges par rapport à la base du bracket sur chaque dent (troisième ordre).

Au même moment, les **ligatures élastomériques apparaissent** (Newman 1963 (15)) permettant une réduction du temps passé au fauteuil à ligaturer, ainsi qu'une fermeture progressive des espaces lorsqu'elles sont utilisées sous forme de chaînettes (Andreasen 1970 (16)). Cependant, elles entraînent plus de friction que les ligatures métalliques (17) et colorent avec le temps.

Au même moment, Docteur Jim Wildman of Eugene développe en 1971 le bracket auto-ligurant **Edge Lock®**, qui a une base arrondie avec un bras rigide qui se clipse en vestibulaire. Un outil spécial pour ouvrir le bras en occlusal est nécessaire pour

insérer l'arc. Lorsque le bras est fermé sur l'arc avec la pression du doigt, le slot du bracket est converti en tube. La rigidité de ce quatrième mur rend le bracket passif dans son interaction avec l'arc. Ceci réduit le contrôle du mouvement dentaire lors de l'utilisation d'arcs sous dimensionnés par rapport à la gorge du bracket. L'Edge Lock® présente un système auxiliaire appelé "collar" permettant de fixer des élastiques ou d'ajouter des tubes supplémentaires notamment au niveau des molaires. Malheureusement, cette attache passive, trop volumineuse, présente quelques inconvénients notamment au niveau de son système d'ouverture-fermeture, ainsi que dans les corrections de rotations. Le bracket Edgelock® (Figure 15) fut le **premier bracket auto-ligaturant passif** et le premier à connaître un succès commercial (18), (19).

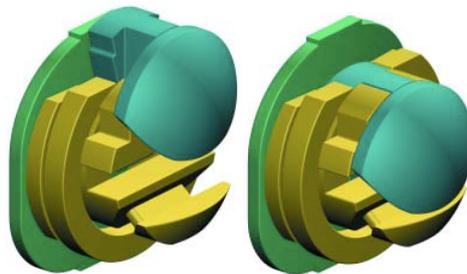


Figure 15 : le bracket Edge Lock® (issue de Berger, JCO, 2000) (13)

Un bracket similaire a été créé en 1975 par le Docteur Franz Sander (Germany) : le **Mobil Lock®** (Figure 16) (20). Inspiré du système de « Russel », il possède un attachement permettant de faire varier la force exercée sur l'arc. En effet, le disque de fermeture peut être mis soit en position de blocage progressif, soit en position de blocage total. Un outil spécifique est ici nécessaire pour tourner le disque semi-circulaire vestibulaire dans la position ouverte ou fermée. Cependant, avec l'arrivée concomitante des ligatures élastomériques, ni le bracket Edge Lock® ni le bracket Mobil Lock® n'ont eu beaucoup de succès par la suite.

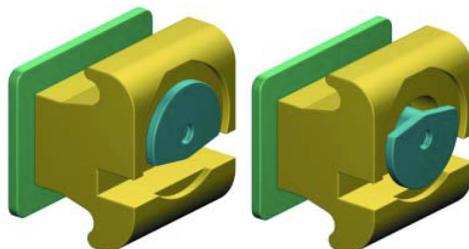


Figure 16 : le Mobil Lock® (issue de Berger, JCO, 2000) (13)

En 1976, Herbert Hanson propose également un nouveau prototype de bracket auto-ligaturant : le **SPEED®** (Spring-loaded Precision Edgewise Energy Delivery) (21) (Figure 17). Le corps du bracket est miniaturisé (2,7 mm de large) et un bras flexible courbe vestibulaire super-élastique en nickel-titane interagit avec l'arc en position fermée permettant ainsi de délivrer une énergie continue et contrôlée sur l'arc (22). **C'est le premier système auto-ligaturant actif commercialisé avec succès, et actuellement encore utilisé.** L'ouverture du clapet requiert l'utilisation d'un instrument fin. La fermeture se fait manuellement (23). Il a été mis sur le marché en 1980 après des essais cliniques. Ce modèle a permis un regain d'intérêt pour les systèmes auto-ligaturants par les orthodontistes, notamment aux Etats-Unis et au Canada. De nombreux systèmes auto-ligaturants se sont développés par la suite selon le même principe du clip et de la fenêtre en façade (24).

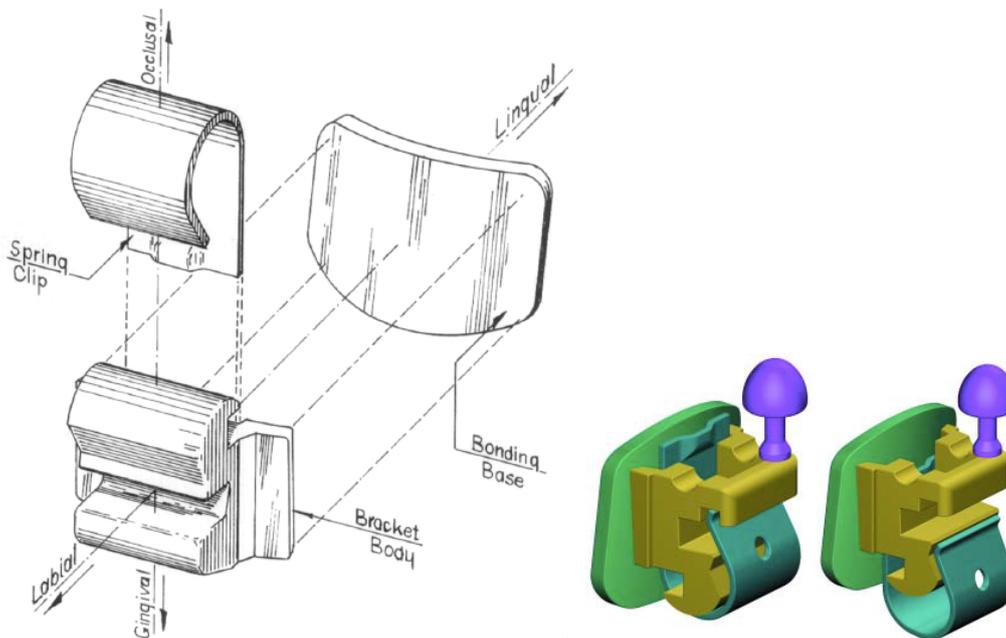


Figure 17 : attache auto-ligaturante Speed® (Hanson, 1980) ((21) ; (issue de Berger, JCO, 2000) (13)

En 1986, Docteur Edwin Pletcher propose le concept **Activa®** : ce bracket auto-ligaturant passif est doté d'un bras vestibulaire qui ouvre et ferme le slot du bracket à la pression du doigt (Figure 18) (25). Mais sa grande largeur et la possibilité pour le patient d'ouvrir et de fermer le clapet lui-même n'a pas permis le développement de ce système.

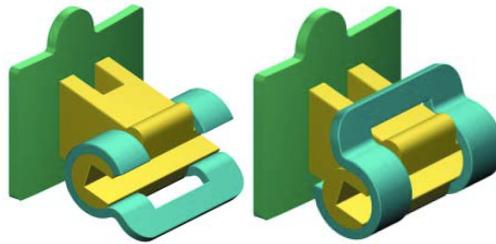


Figure 18 : le bracket Aactiva® (issue de Berger, JCO, 2000) (13)

En 1995, le **Time®** fait son apparition sur le marché (Figure 19). Le Docteur Wolfgang Heiser (Innsbruck, Autriche) est à l'origine de ce concept. En apparence similaire au bracket Speed®, il s'en différencie par un bras vestibulaire rigide fermant le bracket grâce à un outil spécifique et sans interaction avec l'arc, ce qui fait de lui un bracket auto-ligaturant passif (26). Mais ce bracket ne rencontre pas le succès escompté, sa diffusion et les informations le concernant sont limitées (19). L'étude de Paduano (27) montre que ce bracket serait plus difficile à ouvrir (risque de décollement supérieur comparé aux brackets In-Ovation® et Smart Clip®).

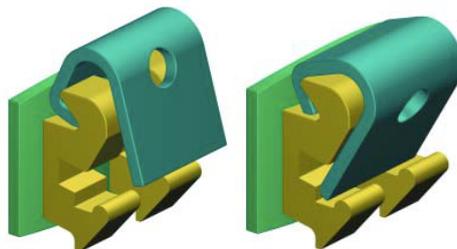


Figure 19 : Bracket Time® (13)

En 1996, Dwight Damon (Spokane, Washington) crée un type de bracket auto-ligaturant qu'il nomme « le bracket faible friction » (28). Il cherche ainsi à optimiser le déplacement dentaire tout en prenant compte du remodelage parodontal. Il teste ses hypothèses via divers typondonts, en jouant sur différents systèmes de ligatures plus ou moins serrées et en utilisant des arcs sous-dimensionnés afin de réduire au maximum la friction. Ces attaches répondent à plusieurs principes :

- le respect de la théorie de l'arc droit d'Andrews
- une configuration proche des boîtiers bi-plots (usage d'auxiliaires, manipulation et collage facilités)
- la création d'un tube lors de la fermeture de la couverture
- un système passif de coulissement sur la face vestibulaire

- un système d'ouverture vers le bas pour les deux arcades (utilisation simplifiée)

Deux systèmes de boîtiers passifs voient le jour : le Damon SL I® et le Damon SL II®. La différence est que pour le Damon SL I® (Figure 21), le mur vestibulaire enjambe le slot lorsqu'il se ferme, alors que le Damon SL II® (Figure 22) passe entre les ailettes du bracket lors de sa fermeture. Sept générations de brackets leur succéderont, notamment le Damon II® en 1999.

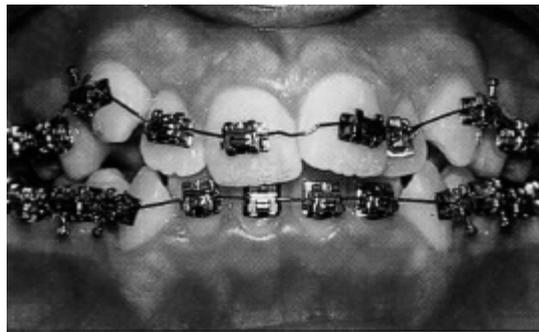


Figure 20 : Système auto-ligurant Damon SL® (29)

L'attache Damon SL® (Figure 20) comporte à l'instar des précédentes un système de porte à glissière en vestibulaire permettant à la gorge de se transformer en tube. Un petit ressort en forme de U est intégré à l'intérieur de la glissière pour contrer une ouverture indésirable de l'attache. Enfin, pour simplifier la manipulation au fauteuil, les attaches s'ouvrent du haut vers le bas en direction occlusale au maxillaire et gingivale à la mandibule. Néanmoins, des difficultés sont rencontrées avec Damon SL®; relevées par Harradine (30) : sur 25 cas consécutifs traités, 31 clapets se cassent, 11 attaches s'ouvrent d'elles-mêmes entre les visites. Face à cela, sur 25 cas traités avec des attaches conventionnelles, on retrouve 15 attaches cassées et autant de perte de ligatures élastomériques.

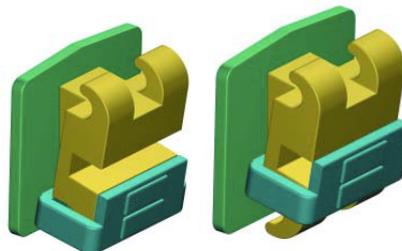


Figure 21 : Bracket SL I de Damon® (13)

Le Damon SL II® (Figure 22) est réalisé à l'aide d'un nouveau processus de fabrication par moulage avec injection de métal (améliore le design des brackets) (31).



Figure 22 : Damon SL II® (11)

Par rapport à son prédécesseur, le bracket Damon II® introduit en 1999 possède une glissière qui coulisse entre les ailettes ce qui le rend plus fin et plus résistant aux déformations. En outre, le système d'ouverture-fermeture est amélioré et le contrôle du torque et des rotations également. Il présente cependant des inconvénients : déformation du clapet, difficultés à ouvrir/fermer le boîtier (19), casse (32). Mais en mettant à profit les progrès de la technologie et les avis des praticiens, plusieurs brackets commercialisés par la société Ormco seront introduits successivement à partir de 2004 : Damon 3®, Damon 3MX®, Damon Clear®, Damon Q®.

En 1998, Docteur Jim Wildman tente un nouveau concept : le bracket **Twin Lock**® (Figure 23). C'est un bracket edgewise auquel est ajouté un mur vestibulaire qui s'ouvre avec une curette standard et se ferme manuellement.



Figure 23 : Bracket Twin Lock® (13)

En 2000 et 2002, après avoir contribué au développement du Speed®, le canadien John Voudouris finalise le système « **R brackets** » connu sous les noms d'In-Ovation et d'In-Ovation R® (

Figure 24) : deux attaches auto-ligaturantes actives et très similaires au concept Speed® mais s'en différencient par le ressort vestibulaire en acier ou cobalt-chrome, et non en nickel-titane. Ces boîtiers ont une configuration bi-plots avec quatre ailettes.



Figure 24 : Bracket In-Ovation R® (14)

En 2004, l'attache auto-ligaturante **Opal®** (Figure 25) est lancée sur le marché, présentée comme "l'attache la plus confortable au monde" grâce à ses bords arrondis. D'abord uniquement en acrylique translucide, elle a ensuite été produite en métal à partir de 2007.



Figure 25 : Attache Opal® (issue de la thèse de Matthieu Hutin) (33)

En 2004, le système **Smart Clip®** (Figure 26) (3M Unitek) par John Kelly innove par les clips en forme de C en Nitinol situés en mésial et distal du slot et qui se clipsent via un outil spécifique placé sur l'arc.



Figure 26 : Bracket SmartClip® (issue du catalogue 3M)

En 2005, plusieurs attaches auto-ligaturantes sont introduites sur le marché : l'attache active **Quick®** (Figure 27) (Forestadent), l'attache passive **Carrière®** (Figure 28), le **Vision LP®** (Figure 29) (premier bracket auto-ligurant chez American Orthodontics).

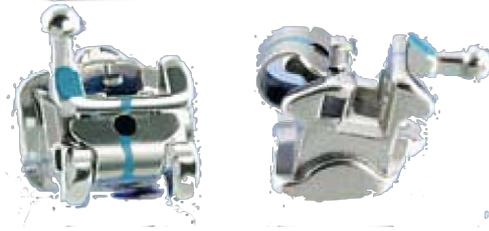


Figure 27 : Bracket Quick® (issue du catalogue Forestadent)



Figure 28 : Bracket SLX de Carriere® (issue du catalogue Carriere)



Figure 29 : Bracket Vision LP® (American Orthodontics, source Sylvain Chamberland)

En 2008, l'attache **Discovery®** (Figure 30) introduit un nouveau système de verrouillage car le clapet s'ouvre par un mouvement de rotation vers la gencive. Cette attache est la plus petite et la moins protubérante sur le marché. Un frein au clapet est intégré pour prévenir sa fermeture automatique lors du changement d'arcs.



Figure 30 : Attache Discovery® (Dentaurum) (issue du catalogue Dentaurum)

En 2009, American Orthodontic commercialise le bracket **Empower®**. Ce bracket fut créé à partir du même brevet que l'attache **In-Ovation®**.

En 2010, Ormco et Forestadent commercialisent leur gamme d'auto-ligaturants actifs **Nexus®** (Ormco) et **BioQuick®** (Forestadent). Ces deux brackets sont identiques car les deux laboratoires ont conclu un accord commercial.

Ainsi, l'essor des brackets auto-ligaturants sur le marché depuis ces 30 dernières années met à la disposition des orthodontistes de nouveaux moyens thérapeutiques. L'historique ici présenté n'est pas exhaustif, mais permet un aperçu du développement parallèle des différents types de brackets : conventionnels, auto-ligaturants actifs, auto-ligaturants passifs.

D'après le sondage mené en 2017 par le Docteur Maïlys Balteau (34) auprès de 197 orthodontistes spécialistes français, 37% d'entre eux utilisent ces brackets auto-ligaturants, que ce soit des attaches actives ou des attaches passives. Pourquoi un tel engouement pour cette nouvelle technologie ? Les résultats des traitements orthodontiques sont-ils ainsi améliorés ?

Tableau 1 : Historique des différents systèmes auto-ligaturants

Système (laboratoire)	Année	Actif/Passif, Type
Boyd et Ford	1933	Passif, métal
Russel Lock	1935	Passif, métal
Edgelock (Ormco)	1972	Passif, métal
Mobil-Lock (Forestadent)	1980	Passif, métal
Speed (Strite industries)	1980	Actif, métal
Activa (A company)	1986	Passif, métal
Time (Adenta)	1994	Passif, métal
Damon SL (A company)	1996	Passif, métal
In-Ovation (GAC)	1997	Actif, métal
Twinlock (Ormco)	1998	Passif, métal
Damon 2 (Ormco)	2000	Passif, métal
In-Ovation R (GAC)	2002	Actif, métal
Opal (Ultradent)	2004	Passif, esthétique
Smartclip (3M)	2004	Passif, métal
Damon 3 (Ormco)	2004	Passif, métal
Quick (Forestadent)	2005	Actif, métal
Carriere LX (Carriere system)	2005	Passif, métal
Vision LP (AO)	2005	Passif, métal
Damon 3MX (Ormco)	2006	Passif, esthétique
SmartClip 2 (3M)	2006	Passif, métal
In-Ovation C (GAC)	2007	Actif, esthétique
Clarity SL (3M)	2007	Passif, esthétique
Lotus (Orthotechnology)	2008	Passif, métal
Discovery SL (Dentaurum)	2008	Passif, métal
QuickClear (Forestadent)	2008	Actif, esthétique
Damon Q (Ormco)	2009	Passif, métal
SmartClip 3 (3M)	2009	Passif, métal
Damon Clear (Ormco)	2010	Passif, esthétique
Nexus M (Ormco)	2010	Actif, métal
Nexus Clear (Ormco)	2010	Actif, esthétique
BioQuick (Forestadent)	2010	Actif, métal
BioPassive (Forestadent)	2010	Passif, métal
Empower (American Orthodontics)	2014	Actif ou passif, métal ou esthétique
In-Ovation X (GAC)	2017	Actif, métal
Clarity Advanced (3M)	2018	Passif, céramique

IV. Les attaches auto-ligaturantes actuelles

4.1. Arguments commerciaux avancés par les laboratoires distributeurs

4.1.1. Communs aux systèmes actifs et passifs

- Moins de résistance au glissement
- Changements d'arcs plus rapides
- Cohérence de l'engagement de l'arc dans le bracket : plus de reproductibilité de l'engagement (affranchissement de ligatures)
- Sécurité de l'engagement de l'arc via le clip
- Moins d'urgences
- Plus de confort pour le patient
- Moins de résorption radiculaire
- Moins de rendez-vous nécessaires au fauteuil
- Moins de temps passé sur le fauteuil à chaque rendez-vous
- Moins d'extractions
- Moins de disjonction maxillaire rapide
- Traitement plus efficient, moins coûteux, moins stressant pour le praticien, pour les assistantes.

4.1.2. Propres aux systèmes auto-ligaturants passifs

- Moins de résistance au glissement donc mécanique de glissement plus efficiente qu'avec les brackets auto-ligaturants actifs

4.1.3. Propres aux systèmes auto-ligaturants actifs

- Meilleur contrôle des rotations et du torque, et meilleure gestion des finitions que les brackets auto-ligaturants passifs.

4.2. Les différents brackets auto-ligaturants passifs disponibles sur le marché actuel

4.2.1. Le bracket Damon®

Propriétés :

Les brackets Damon® sont couramment utilisés dans les cabinets d'orthodontie (15% des orthodontistes en France les utilisent régulièrement (34) et 17% des orthodontistes aux États-Unis en 2014 (35)). Selon Dwight Damon, des forces très légères grâce à des arcs spécifiques dans un appareillage passif permettent une adaptation fonctionnelle de l'arcade, un équilibre facial et ceci même en présence d'un encombrement sévère (28). La faible friction permet une réponse plus biocompatible car le nivellement et l'alignement sont plus rapides, sans effets parasites. En outre, il y aurait un impact dynamique sur la biologie cellulaire, et sur la physiologie osseuse, musculaire et tissulaire.

- Damon Q® (Figure 31) : 2004

Version métallique améliorée, dont les dimensions sont diminuées et qui intègre une seconde gorge horizontale en gingival ainsi qu'un slot vertical destinés aux auxiliaires. En outre, elle offre une jauge de positionnement relativement précise afin d'éviter les erreurs de collages (31).



Figure 31 : Bracket Damon Q® (source : Catalogue Ormco)

- Damon 3MX® (Figure 32) :

Il est composé d'acier coulé de qualité lui procurant solidité et fiabilité. Son nouveau mécanisme d'ouverture/fermeture (de même que le Damon 3®) est facile à utiliser avec un entonnoir profond et un stop pour des changements d'arcs rapides. Les contours de la gorge sont arrondis évitant un reboutement même en cas de déformation sévère. Il possède un slot vertical pour les crochets demi-boules

amovibles et autres auxiliaires et un système d'authentification permanent gravé dans la gorge.

Inconvénients (d'après Harradine, 2008) : fort taux de décollements, séparation entre le métal et la résine renforcée, fracture des ailes (19).



Figure 32 : Damon 3MX® (figure de gauche) et comparaison du profil et des dimensions verticales des brackets Damon 3MX® et Damon Q® (figure de droite) (source catalogue Ormco)

- Damon 3® (Figure 33) :

Bracket semi-composite, base céramique et 4 murs du slot en acier pour réduire la friction.



Figure 33 : Damon 3® (source catalogue Ormco)

- Damon Clear® (Figure 34) :

Version esthétique en céramique du bracket Damon Q®, commercialisée en 2004, fabriqué en alumine polycristalline. Actuellement remplacé par le Damon Clear 2® qui propose un torque variable de canine à canine au maxillaire (low, standard, high).



Figure 34 : Damon clear 2® (source : catalogue Ormco)

4.2.2. Le bracket Smart Clip®

Ce bracket retient l'arc par deux clips en forme de C de chaque côté ; pour l'insertion/désinsertion de l'arc, il faut presser le doigt dessus ou utiliser un instrument spécifique (Figure 35).

Inconvénients : douleurs à l'insertion des arcs de grande section (limitées en diminuant la rigidité du clip) (14).



Figure 35 : Bracket SmartClip SL®, vue de profil du bracket (19), (36), (37)

Sa version céramique avec gorge en métal est le Clarity SL®.

La société 3M a mis sur le marché un bracket entièrement céramique, de plus petite taille : le Clarity ADVANCED® (Figure 36). Et tout récemment, une dernière version a été mise sur le marché : le Clarity Ultra Self-ligating bracket®.



Figure 36 : Bracket Clarity ADVANCED® et le bracket Clarity Ultra self-ligating®
(source : catalogue 3M)

4.2.3. Le bracket Empower®:

Empower® (Figure 37) est le premier bracket du marché qui offre la polyvalence des brackets interactifs et passifs dans un système unifié avec des in/out coordonnés.

Le bracket passif permet, d'après le laboratoire American Orthodontics, un frottement réduit et une mécanique induisant des forces légères tout au long du traitement. L'ouverture de l'attache se fait à l'aide d'un outil spécifique en poussant sur le clip en gingival ou en tirant sur le clip en occlusal. Cet outil peut être remplacé par une sonde. La fermeture du clip se fait en poussant avec le doigt en direction gingivale.



Figure 37 : Bracket Empower® (source : catalogue American Orthodontics)

Avantages (d'après Ludwig and Bister 2011 et le site americanorthodontics.com) :

- Ouverture et fermeture faciles
- Placement de chaînette en dessous ou au-dessus de l'arc possible
- Disponible en versions active ou passive
- Le numéro de la dent est gravé sur la base de l'attache
- Facile à positionner
- Bon contrôle des rotations grâce à la largeur du clip équivalente à la largeur de l'attache.

La version esthétique Empower invisible® (Figure 38) est un bracket céramique avec un clip plaqué argent et rhodium et une extrémité en gingival permettant une ouverture sécurisée.



Figure 38 : Bracket Empower invisible® (source : catalogue American Orthodontics)

4.3. Les différents brackets auto-ligaturants actifs disponibles sur le marché actuel :

4.3.1. Le bracket In-Ovation®

In-Ovation® est une attache auto-ligaturante active commercialisée par le laboratoire GAC comme une attache interactive. **C'est le système auto-ligaturant actif le plus utilisé par les orthodontistes en France** (25% des praticiens interrogés, mémoire du Docteur Balteau : (34)). Le mécanisme de fermeture à glissière verticale flexible est en chrome-molybdène pour l'In-Ovation R® (Figure 39). Ce clip est ainsi résistant à la fatigue et plus performant dans le temps.



Figure 39 : Bracket In-Ovation R® (19)

Le corps de l'attache ressemble à une attache conventionnelle avec 4 ailettes. Cette attache existe également sous une forme plus petite : l'attache In-Ovation Mini®. Le bracket est actif pour un arc de 0.018x0,025 dans une gorge de 0.022 (site Dentsply Sirona) : le clip entre en contact avec le fil. Dans les phases de finitions, ce clip de

forme courbe permet de presser les fils de fortes sections au fond de la gorge du boîtier pour y lire les informations qui y sont contenues.

L'ouverture du clip se fait du collet vers la face occlusale et nécessite un outil spécifique qui peut être remplacé par une sonde.

Avantages (d'après Ludwig and Bister 2011, le site Dentsply.com) :

- Facile à positionner
- Facile à ouvrir et à fermer
- Des chaînettes élastomériques peuvent être placées sur ou sous l'arc
- Des ligatures conventionnelles peuvent être placées si le clip est endommagé
- Il peut recevoir un crochet soudé
- Existe en gorge .022x.028 inch ou .018x.025 inch
- Bon contrôle des rotations grâce à la largeur du clip équivalente à la largeur de l'attache.

Inconvénients (d'après Ludwig and Bister 2011, Harradine 2008) :

- Il peut être difficile d'ouvrir le système lors de l'utilisation d'arc de section importante
- Pas de slot auxiliaire
- Difficultés à visualiser les excès de composite en gingival du bracket à l'arcade mandibulaire.

L'In-Ovation C® (

Figure 40) est le modèle esthétique : il possède un clip en chrome cobalt anodisé au rhodium. Le clip reste métallique mais est dépoli pour ne pas réfléchir la lumière, afin d'avoir un aspect mat (38).



Figure 40 : Bracket In-Ovation C® (issue du catalogue GAC)

Les études de laboratoire ont montré que ce bracket présente moins de friction que les auto-ligaturants passifs et que les brackets à gorge métallique tels que les Clarity® (3M unitek). Ceci s'explique par plusieurs paramètres (d'après Voudouris, 2008 (38)):

- La céramique est injectée et moulée : ce procédé de fabrication supprime les défauts de l'usinage traditionnel et donne à la gorge de l'attache un état de surface aussi lisse que du verre.
- Aussi, la gorge est chanfreinée ou biseautée aux bords proximaux ce qui supprime les éventuelles adhérences du fil lors des phases de glissement.
- Le boîtier céramique n'est pas sujet aux phénomènes de micro-corrosion que l'on observe avec le métal, pouvant se traduire par une altération du déplacement dentaire provoqué.

Certains inconvénients sont toutefois rapportés comme le clip qui est de moindre qualité que son équivalent en métal (39).

4.3.2. Le bracket Empower®

14% des orthodontistes en France utilisent ce produit régulièrement (34). C'est une attache polyvalente (Figure 41) : en effet, comme vu précédemment, elle existe en attache passive mais également en attache « interactive ». Dans sa version

interactive, l'attache offre l'avantage d'un frottement réduit en début de traitement et davantage de contrôle pendant les phases de finitions. En effet, le clip devient actif à partir d'une section supérieure à 0.016x0.022 inch pour les gorges de .018inch et de 0.017x0.025 inch pour les gorges .022 inch. L'association des deux types de brackets est possible : c'est la « Dual activation », un système hybride avec des brackets interactifs en antérieur (contrôle précis et finitions optimisées) et des brackets passifs en postérieur.



Figure 41 : Bracket Empower et le concept « Dual Activation » (site internet American Orthodontics)

4.3.3. Le bracket SPEED® (Figure 42) :

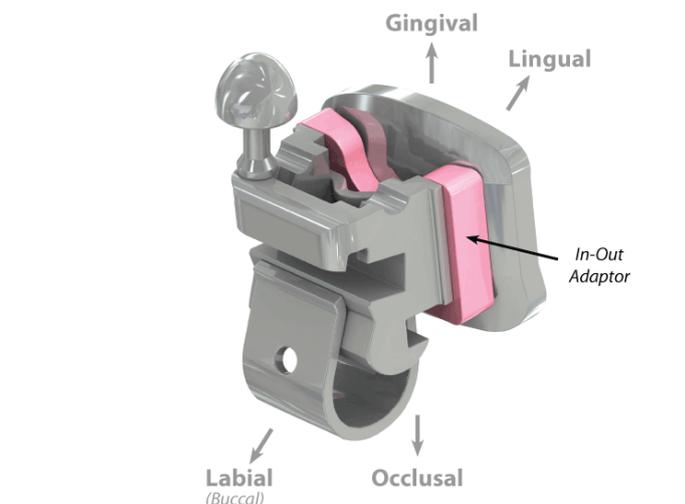


Figure 42 : Bracket SPEED® (source Catalogue Speedbrackets)

Il a été conçu à la Strite Industries Limited, Cambridge, Ontario, Canada par Hanson. Il est utilisé par 3% des orthodontistes en France de façon régulière (34). Ce bracket auto-ligaturant actif est le seul à posséder un clapet en Nickel Titane ; ceci réduit considérablement la force nécessaire pour l'ouverture/fermeture par rapport au clapet en acier de départ (21), (24). Il présente une fenêtre vestibulaire facilitant l'ouverture par l'insertion d'un instrument fin, la fermeture du clapet se fait manuellement.

Avantages (selon Hanson (21), Berger (22)) :

- Clip flexible actif permettant un contrôle tridimensionnel précis
- Une friction minimale durant la mécanique de glissement
- Un champ d'activation étendu dû à l'énergie contenue dans le clapet actif
- Des espaces inter-brackets larges
- Un clapet qui ne fatigue pas et ne se déforme pas plastiquement dans les conditions normales d'utilisation
- Un slot horizontal permet la mise en place d'auxiliaires dans les mécaniques d'arcs segmentés 0.016x0.016 inch
- Un design miniaturisé et esthétique, des contours arrondis améliorant le confort du patient
- Pas d'instruments spécifiques pour collage/dépose, ouverture/fermeture du clapet

Les inconvénients de ce type de bracket sont (d'après Ludwig and Bister 2011) :

- Bracket monoplast, et non siamois. Or 90% des orthodontistes utilisent des brackets siamois d'après un sondage mené par Keim et al. en 2014, JCO (35). Cela prive ce bracket d'ailettes qui protègent le clip des forces masticatoires et de la fracture. En outre, les ailettes permettent de placer des ligatures, des chaînettes, des crochets dans les techniques d'arc droit.
- Taille réduite qui rendrait moins efficace la correction des rotations
- Les chaînettes élastomériques ne peuvent se placer qu'en dessous de l'arc

Après cette description détaillée des différents produits disponibles sur le marché, nous allons à présent comparer des types de brackets au travers d'études cliniques. Ceci aidera l'orthodontiste à adopter un choix éclairé face aux situations cliniques.

V. Revue systématique de la littérature comparant les attaches conventionnelles, auto-ligaturantes passives et actives :

« La pratique fondée sur la preuve est le recours consciencieux, explicite et judicieux à la meilleure preuve scientifique contemporaine lors d'une prise de décision thérapeutique concernant un patient donné » (Sackett D. *et al.*, 1996 (40)).

Tous les types d'études sont concernés, répartis selon une pyramide de la preuve, (Figure 43) hiérarchisant leur niveau de preuve.

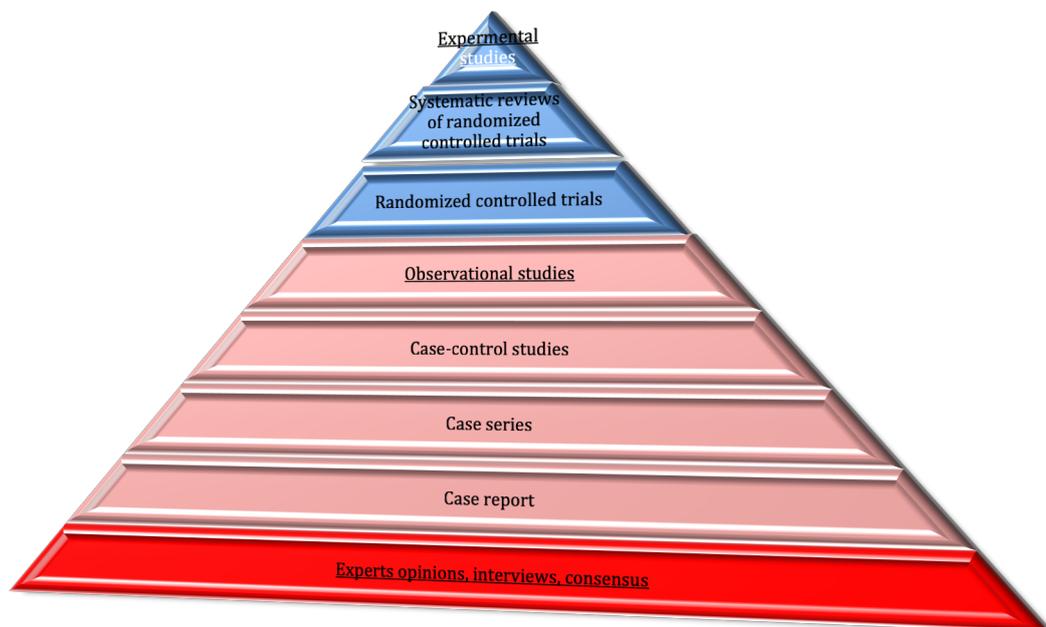


Figure 43 : Pyramide de la preuve (d'après Yves Bolender, *Les attaches auto-ligaturantes sont-elles plus efficaces que les boitiers traditionnels? Revue systématique de la littérature et méta-analyse*).

Les essais contrôlés randomisés représentent le « gold standard » pour la conception des études cliniques, grâce au processus de randomisation, la dissimulation de la répartition des participants dans les groupes, la mise en aveugle des observateurs et des participants et la prise en compte des perdus de vue. Cela augmente la fiabilité des résultats, limitant les biais statistiques.

Dans ce manuscrit, nous faisons état de la littérature, par une revue systématique large.

Dans un second temps, ce travail de thèse a été complété par un mémoire de fin de DES intitulé **« Existe-t-il une différence entre les attaches conventionnelles, les attaches auto-ligaturantes actives et auto-ligaturantes passives ? Une revue systématique et une méta-analyse en réseau »**. Nous y avons réalisé une revue systématique et une méta-analyse en réseau, où seules les études contrôlées randomisées et les études en bouche fractionnée (*split-mouth design*) ont été incluses.

5.1. Objectifs :

L'objectif de cette thèse est de réaliser une revue de la littérature de toutes les études comparant les attaches conventionnelles (avec ligatures métalliques ou ligatures élastomériques), auto-ligaturantes actives et auto-ligaturantes passives, selon plusieurs paramètres propres au traitement orthodontique (détaillés en partie 5.3).

Tableau 2 : Description des critères PICO (Population Intervention Comparison Outcome)

Acronyme	Description
Population	Patients bénéficiant d'un traitement orthodontique (quel que soit leur âge)
Intervention	Mise en place d'un traitement orthodontique vestibulaire avec des brackets-conventionnels
Comparison	Mise en place d'un traitement orthodontique vestibulaire avec des brackets-auto-ligaturants (actifs ou passifs)
Outcome	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durée du traitement ▪ Nombre de rendez-vous ▪ Résultats occlusaux ▪ Alignement obtenu ▪ Changement des dimensions transversales ▪ Changement de l'inclinaison de l'incisive maxillaire / mandibulaire ▪ Vitesse de fermeture des espaces maxillaire/ mandibulaire ▪ Perte d'ancrage molaire ▪ Casse/décollement de brackets ▪ Douleur ressentie au cours du traitement

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilisation d'antalgiques ▪ Douleur ressentie à l'insertion de l'arc ▪ Temps nécessaire pour déposer et ligaturer un arc ▪ Paramètres parodontaux ▪ Lésions carieuses associées au traitement orthodontique ▪ Résorptions radiculaires ▪ Qualité de vie
--	---

La recherche électronique s'est réalisée à partir de bases de données sélectionnées :

- PubMed : de 1966 à janvier 2019
- Web of Science (MedLine) : de 1898 à janvier 2019
- Cochrane Central Register of controlled trial, the Cochrane Library: numéro le plus recent.

Les mots clés étaient:

(orthodontic appliances OR bracket* OR brace OR braces) AND (self-ligat* OR selfligat*).

Une recherche manuelle a enrichi la recherche électronique par des articles parus entre janvier 2006 et janvier 2019. Elle s'est effectuée à la lecture des bibliographies des articles issus des bases de données ainsi qu'à la lecture des tables des matières des trois revues référentes au niveau international en orthopédie dento-faciale : European Journal of Orthodontics, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics et l'Angle Orthodontist.

5.2. Paramètres étudiés :

- Paramètres influençant la mise en œuvre du traitement
 - Durée du traitement et nombre de rendez-vous nécessaires
 - Temps nécessaire pour ligaturer et retirer les arcs
 - Taux de décollement des attaches
 - Confort du patient (douleur, prise d'antalgiques et qualité de vie)
- Paramètres influençant les résultats thérapeutiques
 - Résistance au glissement

- Alignement dentaire
- Vitesse de fermeture des espaces d'extractions
- Contrôle du torque antérieur
- Paramètres évaluant les résultats thérapeutiques
 - Indices évaluant les résultats occlusaux (indice d'irrégularité de Little, Peer Assessment Rating PAR, Index Of Complexity Outcome and Need ICON)
 - Changements des dimensions transversales inter-canines, inter-molaires et inter-prémolaires
 - Indices évaluant la santé parodontale (indice gingival, indice de saignement, saignement au sondage, profondeur de poche)
 - Evaluation radiologique des longueurs radiculaires en fin de phase d'alignement ou en traitement
 - Diagnostic de lésions carieuses en cours ou en fin de traitement orthodontique

5.3. Critères d'inclusion :

Nous nous sommes basés sur différents types d'études :

- études expérimentales *in-vitro*,
- études rétrospectives,
- études prospectives (essais contrôlés randomisés, études en bouche fractionnée (*split-mouth design*), études d'observation, études de cohortes, études cas-témoins).

5.4. Critères d'exclusion :

- Langue
- Manque d'intérêt
- Article non disponible

5.5. Analyse statistique :

Les informations suivantes ont été collectées :

- Année de publication et pays d'origine
- Détails à propos des participants, comprenant les caractéristiques démographiques et les critères d'inclusion pour les études *in-vivo*
- Détails concernant les interventions (type de bracket, type de traitement)
- Critères de jugement, tels que mentionnés ci-dessus.

Les distinctions ont été faites entre les trois types de brackets : auto-ligaturant passif, auto-ligaturant actif, conventionnel.

Dans le cadre de la méta-analyse du mémoire, les essais contrôlés randomisés et les études en *split-mouth design* furent initialement incorporés, selon des sous-groupes séparés (Lesaffre *et al.* (Stat Med, 2009)) et mis en commun ultimement. Ensuite, pour obtenir des comparaisons entre les brackets de façon indirecte, une analyse en réseau (network analysis) a été réalisée. Celle-ci combine les résultats issus de comparaisons directes et indirectes via des comparateurs communs. Par exemple dans la Figure 44, une comparaison indirecte peut être obtenue entre les brackets auto-ligaturants actifs et les brackets auto-ligaturants passifs grâce à des études comparant directement les brackets passifs aux brackets conventionnels ; et des études comparant directement les brackets actifs aux brackets conventionnels. Ainsi, dans cet exemple, les brackets conventionnels sont considérés comme « comparateur commun ».

Direct and indirect comparisons

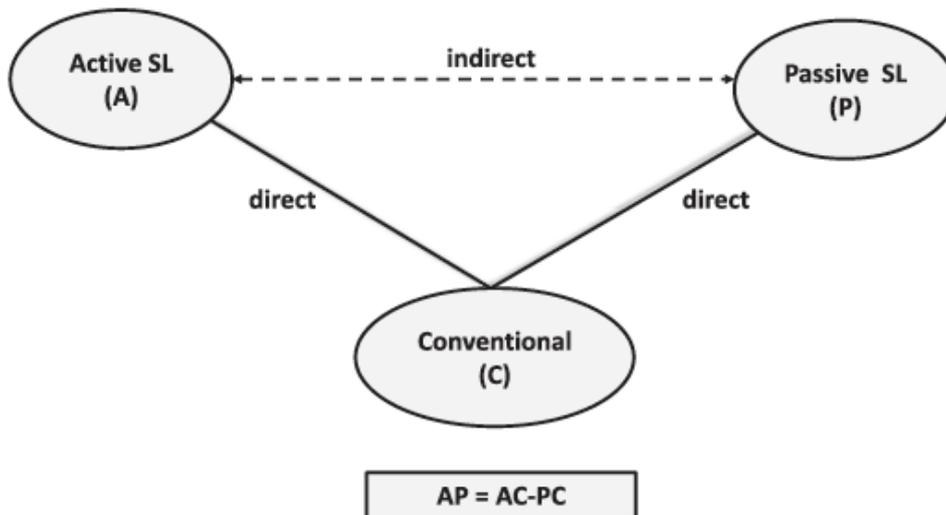


Figure 44 : Comparaisons directes et indirectes (Pandis, 2014) (41)

La qualité de la preuve et la fiabilité des recommandations a été évaluée pour chaque comparaison via les 4 catégories proposées par les recommandations GRADE 2008 : 4 catégories sont détaillées ci-dessous.

Définitions des qualités de la preuve (42) :

Haute qualité : Il est très peu probable que des recherches ultérieures modifient notre confiance en l'estimation de l'effet.

Qualité modérée - Des recherches ultérieures auront probablement une incidence importante sur notre confiance dans l'estimation de l'effet et pourraient modifier l'estimation.

Qualité médiocre - Des recherches ultérieures auront très probablement une incidence importante sur notre confiance dans l'estimation de l'effet et sont susceptibles de modifier l'estimation.

Très basse qualité - Toute estimation de l'effet est très incertaine.

5.6. Résultats

5.5.1. Diagramme de flux (flow chart) :

Deux examinateurs (Raphaëlle Maizeray et Delphine Wagner) ont lu les titres et les résumés des 1027 articles retenus à l'issue de cette première phase. Les 561 doublons ont dans un premier temps été exclus.

Parmi les 466 articles restants, les articles inclus devaient faire état des critères suivants dans leur titre et/ou dans leur résumé :

- Comparaison entre les trois types de brackets : conventionnels, auto-ligaturants passifs, auto-ligaturants actifs
- Résultats concernant un des critères de jugement sus-cités.

Au total, 162 articles ont été retenus pour notre revue systématique.

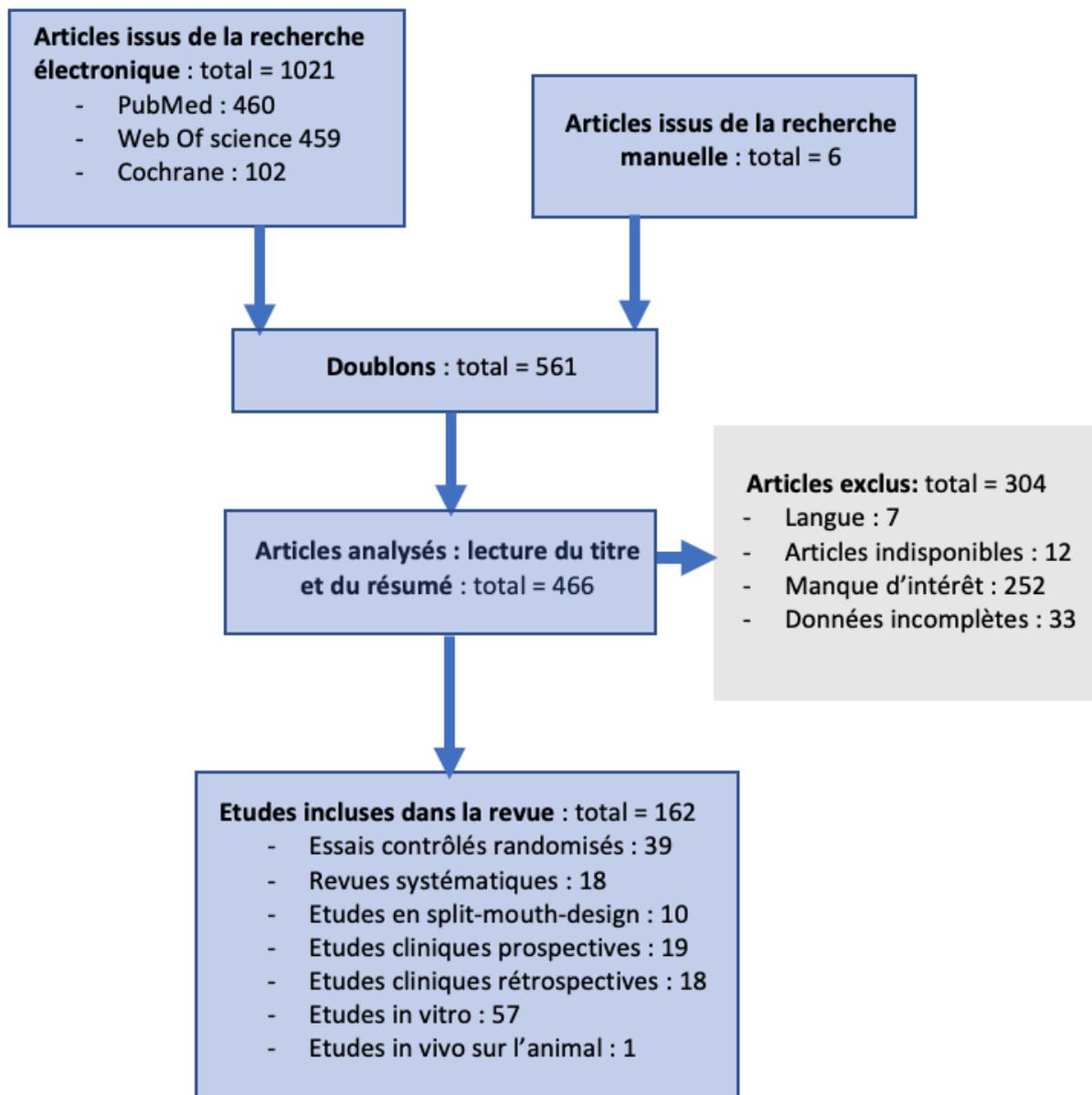


Figure 45 : Diagramme de flux de la sélection des articles

5.5.2 Durée du traitement et nombre de rendez-vous :

Etudes en faveur d'une réduction du temps de traitement et du nombre de rendez-vous :

Harradine en 2001 (30) a mené une étude rétrospective cas-témoin auprès de 60 patients : 30 patients étaient traités avec des brackets conventionnels et 30 autres patients étaient traités par des brackets Damon®. La répartition a été faite en fonction de la classification de malocclusion incisive, l'âge de début de traitement, l'indice de malocclusion Peer Assessment Rating (PAR), les besoins d'extractions, la présence d'une canine palatine ectopique ou les besoins de prises en charge orthodontico-chirurgicales. Il y avait 40% de cas avec extractions. La durée de traitement était inférieure de 4 mois en moyenne dans le groupe Damon ($p < 0,007$), avec en moyenne 4 visites de moins ($p < 0,001$).

Eberting a mené en 2001 (32) une étude rétrospective comparant 215 patients suivis dans 3 cabinets. Il y avait une distribution semblable de cas avec et sans extractions entre les 108 patients « Damon® » et les 107 patients « conventionnels ». La durée du traitement était significativement plus courte de 6,33 mois dans le groupe Damon® comparé au groupe conventionnel. Le nombre de visites était significativement inférieur dans le groupe Damon® (21,53 rendez-vous) comparé au groupe conventionnel (28,46 visites).

Juneja en 2014 (43) a mené une étude rétrospective comparant les brackets conventionnels en MBT et les brackets SmartClip® (10 patients dans chaque groupe). Tous les patients nécessitaient des extractions de première(s) prémolaire(s). La durée de traitement pour les brackets conventionnels était augmentée de 3,2 mois comparée aux patients du groupe auto-ligaturant passif, de façon statistiquement significative ($p < 0,05$).

D'après l'étude rétrospective de Tagawa (44), les patients « Damon® » ont un traitement moins long de 7,2 mois en moyenne comparé aux patients « brackets conventionnels », avec 47% de rendez-vous en moins, et un alignement moins long de 3 mois. Cependant, cette étude qui est mentionnée sur le site des distributeurs, annonce des différences significatives, sans pour autant les justifier avec des valeurs de significativité statistique probantes.

Etudes ne montrant aucune différence entre les brackets conventionnels et les brackets auto-ligaturants :

- **Durée de traitement :**

Deux études rétrospectives sont retrouvées : Machibya en 2012 (45) compare les brackets auto-ligaturants passifs aux brackets conventionnels ; Hamilton en 2008 (46) a comparé à l'aide d'un grand échantillon de patients (n=762) les brackets actifs In-Ovation® aux brackets conventionnels Victory®. Aucune différence statistiquement significative n'a été montrée entre les brackets auto-ligaturants et les brackets conventionnels.

Yang a mené en 2017 (47) une revue systématique comparant les brackets auto-ligaturants aux conventionnels. Il ne met pas en évidence de différence concernant le temps de traitement d'après trois essais contrôlés randomisés (DiBiase, Johansson, Fleming 2010).

Dans notre méta-analyse, 5 essais contrôlés randomisés sont recensés: Fleming 2010 (48), DiBiase 2011 (49), Cattaneo 2011 (50), Johansson 2012 (51), O'Dwyer 2016 (52). Ces études avaient un risque de biais faible, excepté dans l'étude de Cattaneo où le risque de biais était modéré. **Aucune différence statistiquement significative n'est retrouvée entre les trois types de brackets, que ce soit dans la méta-analyse initiale ou dans l'analyse en réseau.**

- **Nombre de rendez-vous :**

Notre méta-analyse regroupe 4 essais contrôlés randomisés Fleming 2010 (48), DiBiase 2011 (49) , Johansson 2012 (51) , O'Dywer 2016 (52), tous comparant les systèmes auto-ligaturants passifs aux brackets conventionnels. Il n'y a aucune différence statistiquement significative entre les brackets passifs et les brackets conventionnels.

Conclusions :

Même si au regard des études rétrospectives, les brackets autoligaturants permettraient de réduire le temps de traitement de 3 à 6 mois, il n'est pas prouvé dans les articles de plus haut niveau de preuve que les attaches auto-ligaturantes réduisent le temps de traitement ni le nombre de rendez-vous. De plus, il n'y aurait pas de différences entre les trois types d'attaches.

5.5.3 Temps pour ligaturer et déposer les ligatures :

Etudes en faveur d'une réduction du temps de pose/dépose des ligatures :

Une étude prospective menée par Maijer en 1990 (53) montre qu'il faut 3 minutes en moyenne pour déposer et ligaturer les arcs maxillaire et mandibulaire chez un patient avec des brackets auto-ligaturants Activa® contre 10 minutes chez un patient avec des brackets conventionnels.

En 2001, Berger (12) conclut dans une étude prospective que le bracket SPEED® permet un gain de temps dans une journée de travail, soit une heure par rapport aux brackets conventionnels Mini-Twin® associés avec des ligatures élastomériques et 4 heures 50 minutes comparé à ces mêmes brackets associés avec des ligatures métalliques.

La même année, Harradine (30) démontre un gain de temps en utilisant les brackets passifs Damon® comparés aux brackets conventionnels.

En 2007, Turnbull (54) montre dans une étude prospective non randomisée que les brackets Damon 2® sont plus rapides à utiliser avec un gain d'1,3 minutes par visite,

comparés aux brackets conventionnels Orthos®. Le temps gagné augmente avec la taille des arcs de façon statistiquement significative.

Un étude prospective non randomisée menée par Paduano en 2008 (27) a montré que le temps pour déposer et ligaturer un arc acier 0.019x0.025 dans les brackets passifs Time 2® était significativement plus long à l'arcade inférieure comparé aux brackets passifs Smart Clip® et aux brackets actifs In-Ovation®. Ainsi, pour une arcade, les brackets auto-ligaturants permettent un gain de temps d'1 minute 30 secondes comparé aux attaches conventionnelles associées avec ligatures élastomériques en O. Soit un gain d'une heure sur une journée de 30 patients.

Une autre étude prospective randomisée menée par Le Gall en 2014 (55) mesure le temps pour déposer l'arc et ligaturer différents types de brackets et d'arcs au fauteuil. Plusieurs praticiens expérimentés ont participé à cette étude, et un nombre de patients non mentionnés. En moyenne, le temps nécessaire pour ligaturer est réduit de moitié avec les brackets auto-ligaturants actifs (In-Ovation®) comparé aux brackets conventionnels avec ligatures élastomériques. Le temps nécessaire pour ligaturer est réduit de 75% lorsque la comparaison se fait avec les brackets conventionnels et ligature en métal avec assistance. Ces différences sont statistiquement significatives. Pour la dépose des arcs, aucune différence n'est trouvée. L'auteur rapporte également un avantage accru dans la réduction du temps au fauteuil dans les stades plus avancés (arcs rectangulaires) avec les auto-ligaturants comparé aux conventionnels, sans donner de valeurs statistiques à cette différence.

Un essai contrôlé randomisé mené par Miles en 2010 (56) auprès de 60 patients tous traités avec des brackets céramiques de canine à canine maxillaires (30 avaient des brackets conventionnels (Victory®, Clarity®), et 30 avaient des brackets auto-ligaturants actifs (In-OvationC®, In-Ovation®)) et des brackets métalliques de prémolaires à molaires maxillaires. Que ce soit avec ou sans assistance, le temps pour ligaturer et déposer les ligatures maxillaires sur les six brackets auto-ligaturants actifs antérieurs maxillaires était de 21 secondes en moyenne. Ceci est statistiquement significativement inférieur comparé aux patients avec brackets conventionnels (gain de temps d'une minute 41 secondes avec assistante, et de 2 minutes 10 secondes sans assistance).

Conclusions :

L'ensemble des études sont consensuelles, les attaches auto-ligaturantes actives permettent une réduction significative du temps passé au fauteuil pour poser et déposer les arcs orthodontiques.

5.5.4. La résistance au glissement :

L'alignement dentaire consiste à obtenir un alignement des gorges des attaches au cours de la première phase du traitement d'orthodontie. La majorité des praticiens utilisent des techniques dites de glissement, dans lesquelles l'interface entre le bracket et l'arc orthodontique implique une notion de **résistance au glissement**. Le contact entre le bracket, l'arc orthodontique et la ligature forme une interface produisant du frottement ou résistance au glissement (Farrant, 1977), s'opposant au mouvement dentaire, notamment lorsque des techniques de glissement sont employées (comme la technique de l'arc droit). L'objectif de nos traitements est d'obtenir un alignement idéal en un temps raisonnable, ce qui sous-entend que la résistance au glissement ne soit pas excessive afin de ne pas contrarier le déplacement dentaire. Selon Drescher et coll., plus de 60% des forces appliquées aux dents ne servent qu'à contrer cette résistance au glissement (57).

Un des avantages annoncés des brackets auto-ligaturants par rapport aux brackets conventionnels est le « free-sliding » soit l'absence de résistance au glissement, ou tout du moins de réduire au maximum **ces forces de friction indésirables**, notamment via leur taille minimisée et l'affranchissement de ligature.

Les multiples **études *in-vitro*** se sont intéressées à ce phénomène :

- Soit par des tests mécaniques passifs, où les gorges des brackets testés sont alignés dans l'axe de traction de l'arc (Figure 46).



Figure 46 : Modèle expérimental *in-vitro* : 3 brackets sont alignés avec l'arc
(Rozzi) (69)

- Soit par des tests mécaniques où les brackets ne sont pas positionnés de façon colinéaire.

Différentes sections d'arcs sont testées avec des brackets alignés dans l'axe de traction :

- **Avec des arcs ronds** (utilisés lors des phases de nivellement-alignement) :
 - Tests avec les deux types de brackets auto-ligaturants (actifs et passifs), et des brackets conventionnels : Shivapuja (58), Pizzoni (59), Henao (60), Tecco 2007 (61), Brauchli (62), Tecco 2011 (63), Rajesh (64), Kumar (65)
 - Tests avec des brackets auto-ligaturants passifs comparés aux brackets conventionnels : Gandini (66)
 - Tests avec des brackets auto-ligaturants actifs comparés aux conventionnels : Read-Ward (67), Pizzoni (63)

- **Avec des arcs rectangulaires** (utilisés ensuite pour les phases actives du traitement) :
 - Tests avec les brackets auto-ligaturants actifs et passifs, et des brackets conventionnels : Kumar (65), Ben Rejeb (68), Voudouris (1), Read-Ward (67), Rozzi (69), Soltani (70)

- Tests avec des brackets auto-ligaturants passifs comparés aux brackets conventionnels : Kapur (71), Khambay (72), Rajesh (64), Monteiro (73), Hiroce (74), Vinay (75), Franchi (76), Gandini (77), Griffiths (78), Pasha (79)
- Tests avec des brackets auto-ligaturants actifs comparés aux brackets conventionnels : Hain (80), Pillai (81), Sims (82), Taylor (83), Cacciafesta (84).

Lorsque les gorges des brackets testés sont alignées avec l'axe de traction de l'arc, plusieurs de ces études *in-vitro* concluent à une **friction inférieure** avec les brackets auto-ligaturants comparativement aux brackets conventionnels. Les brackets auto-ligaturants passifs présentent la plus faible résistance au glissement, de façon statistiquement significative par rapport aux brackets auto-ligaturants actifs et aux brackets conventionnels : aussi bien avec des arcs ronds (Tecco 2005 (85), Buzzoni (86)) qu'avec des arcs rectangulaires (Gomez (87), Thomas (88), Pizzoni (59), Tecco 2005 (85), Brauchli (62), Reznikov (89), Kahlon (90), Huang (91), Henao (60), Oliver (92), Szczupakowski (93)).

En outre, quelques études *in-vitro* ont un protocole différent avec des **brackets non alignés** dans le but de simuler une malocclusion, afin de se rapprocher des conditions *in-vivo*. Elles concluent que les forces de friction augmentent avec le degré de malocclusion pour tous les brackets testés, et **particulièrement pour les brackets auto-ligaturants** (actifs : Yeh (94), Jakob (95) ; ou passifs : Crincoli (96)).

Holtmann (97) conclut que les brackets auto-ligaturants (actifs et passifs) ont des taux d'alignement similaires aux brackets conventionnels avec ligature métallique. En revanche, les brackets conventionnels munis d'une ligature élastomérique présentent des taux d'alignement moins bons.

L'étude de Thorstenson et Kusy (98) mesure la résistance au glissement entre plusieurs types d'arcs avec les trois types de brackets, en fonction de l'angulation des gorges des brackets par rapport à un plan de référence. Lorsque l'angulation mésio-distale d'un bracket par rapport à l'autre varie de -9° à $+9^\circ$ lors des tests (binding, graphique du dessous), les forces de résistance au glissement sont comparables quel que soit le type de bracket utilisé et le type d'arc testé (Figure 47).

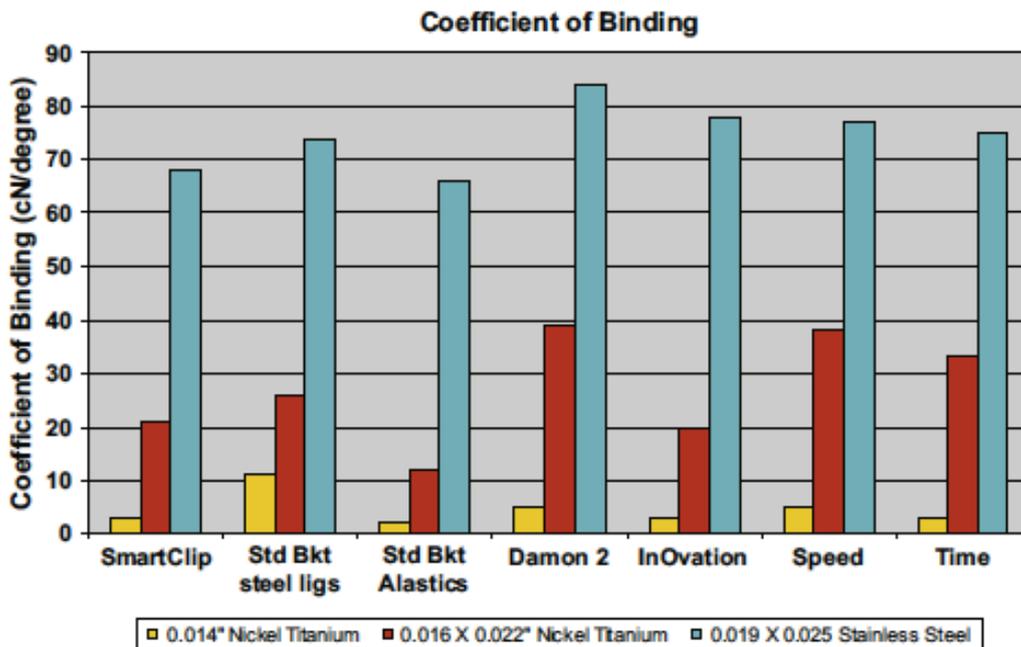
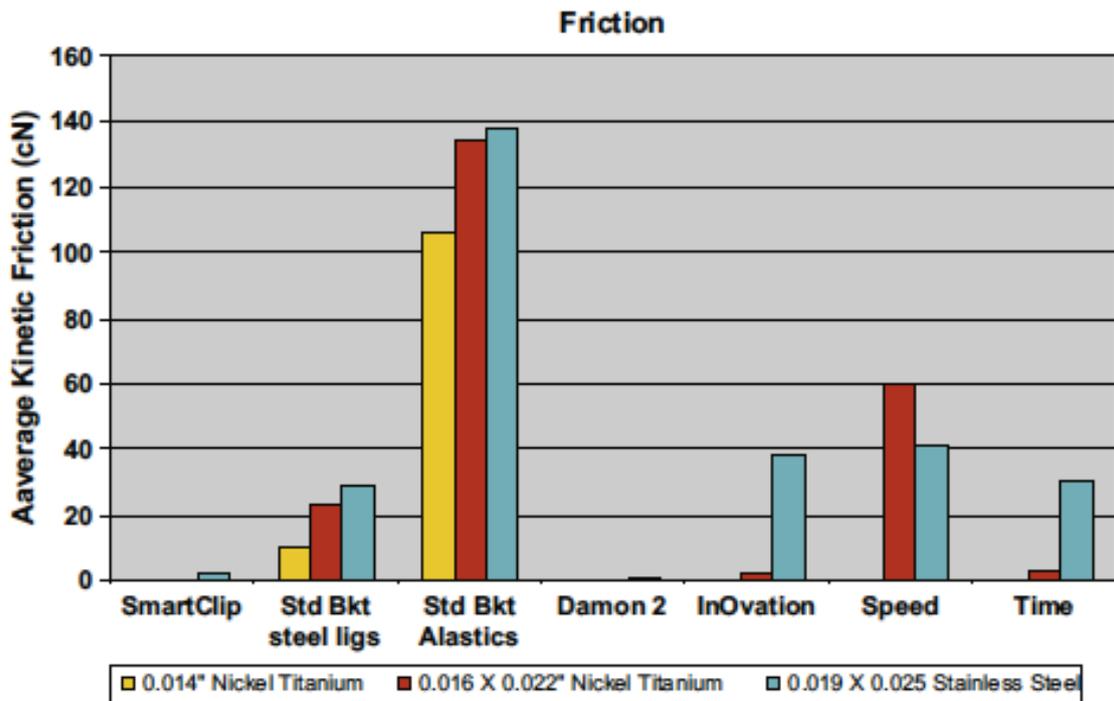


Figure 47 : Etude de Thorstenson et Kusy (issue de Burrow 2009)

D'autres études font aussi varier l'angulation du slot du bracket avec l'utilisation d'arcs rectangulaires. Leurs conclusions sont que les brackets auto-ligaturants présentent des forces de friction augmentées (Pizzoni (59), Bednar (99), Sims (82), Lee (100)) ; similaires aux brackets conventionnels avec ligatures métalliques (Read-

Ward (67)); voire supérieures aux brackets conventionnels avec ligatures élastomériques (Reicheneder (101)).

En outre, lorsque la **taille de l'arc** augmente, passant de rond à rectangulaire (à partir de 0.016x0.022 SS ou NiTi), plusieurs études mettent en lumière que les forces de friction augmentent pour les brackets auto-ligaturants, se rapprochant des valeurs obtenues avec les brackets conventionnels (52), (99), (64), (69), (75), (101), (85), (98).

La revue de la littérature de Ehsani de 2009 (87) incluant 19 études *in-vitro* rejoint les conclusions précédentes. Il n'y a pas de preuve suffisante pour affirmer que les brackets auto-ligaturants permettent une moindre résistance au frottement sur des arcs rectangulaires en présence d'angulation mésio-distale et vestibulo-linguale, avec une malocclusion plus marquée.

Auto-ligaturants passifs versus actifs :

Les brackets actifs ont été créés pour permettre une meilleure expression des forces au sein du bracket lors des phases intermédiaires et de finitions. Ainsi, les forces de friction seraient augmentées par rapport aux brackets passifs. Cela est retrouvé dans plusieurs études *in-vitro* (Stefanos (217), Huang (107), Budd (108)), notamment avec des arcs rectangulaires (0.016x0.022 inch à 0.019x0.025 inch dans des brackets 0.022x0,028 inch).

Nouveaux protocoles expérimentaux

Certaines études *in-vitro* sur la friction ont utilisé **la méthode des éléments finis** qui se rapproche des conditions *in-vivo* (Huang (91), Gomez (87)). Ce protocole est intéressant pour simuler au mieux les conditions cliniques, mais cela reste un modèle expérimental, en pleine évolution.

Conclusion :

Quelques résultats soutiennent l'avantage d'une moindre friction avancé par les fabricants, mais ceux-ci ne sont pas **applicables en clinique car les gorges des brackets testés sont toutes colinéaires**. Or, cliniquement, les gorges des brackets **ne sont pas alignées entre elles** le jour du collage, avant toute mise en place d'arc.

De plus, cette méthodologie ne considère pas les phénomènes physico-biologiques impliqués dans la résistance au glissement. D'ailleurs, ces conclusions ne sont pas retrouvées lorsque les tests sont menés sur des brackets non colinéaires.

5.5.5. Alignement dentaire :

Etudes *in-vivo* en faveur d'une différence d'efficacité dans l'obtention de l'alignement initial :

- **En faveur des brackets auto-ligaturants :**

Du fait d'un engagement complet de l'arc dans le bracket auto-ligaturant, l'hypothèse d'un alignement initial avec des dérotations plus efficaces est envisageable. D'après l'article de Harradine (109) dans l'AJODO 2013, plusieurs études avec des séries de cas montrent un meilleur alignement avec les brackets auto-ligaturants (28), (32), (44).

Pandis en 2007 (110) mène un essai contrôlé randomisé où l'alignement antérieur mandibulaire serait 2,7 fois plus rapide avec les brackets auto-ligaturants passifs Damon® comparativement aux brackets conventionnels, chez 28 patients avec un encombrement modéré (Indice d'irrégularité de Little ou ILL<5). Cette différence est statistiquement significative. Néanmoins lorsque l'encombrement est sévère (ILL>5), l'alignement antérieur est comparable entre les deux groupes.

L'essai contrôlé randomisé de Reddy (111) rapporte un avantage à utiliser les brackets auto-ligaturants avec une réduction significative du temps d'alignement mandibulaire par rapport aux brackets conventionnels associés avec des ligatures élastomériques ou métalliques. La réduction est de 23 jours en moyenne avec les brackets auto-ligaturants passifs, et de 33 jours en moyenne avec les brackets auto-ligaturants actifs.

- **En faveur des brackets conventionnels :**

Miles en 2006 (112) dans une étude en bouche fractionnée non randomisée portant sur 58 cas trouve une amélioration de l'index d'irrégularité statistiquement

significativement supérieure de 0,2 mm dans le groupe conventionnel (Victory®) comparativement au groupe traité par auto-ligaturant passif (Damon®), à T1 (10 semaines après le collage de l'appareillage) et à T2 (20 semaines après T0). Ceci pouvant être expliqué selon l'auteur par le manque d'engagement de l'arc NiTi 0.014 dans l'attache auto-ligaturante passive. Ces différences sont toutefois cliniquement peu significatives.

L'essai contrôlé randomisé de Songra conclut également à un alignement significativement plus rapide avec des brackets conventionnels Omni® par rapport aux brackets auto-ligaturants (passifs (Damon3MX®): différence moyenne de 171 jours ; et actifs (In-OvationR®) : différence moyenne de 148 jours) (113).

Wahab mène en 2012 (114) un essai contrôlé randomisé auprès de 29 patients : 14 patients porteurs de brackets auto-ligaturants passifs Damon 3®, 15 patients porteurs de brackets conventionnels. Entre le premier et le deuxième mois, la différence est statistiquement significative en faveur des brackets conventionnels Mini-Diamond® comparés aux brackets auto-ligaturants passifs Damon 3®. Les auteurs concluent à la rapidité supérieure des brackets conventionnels par rapport aux auto-ligaturants dans l'alignement incisif initial.

D'autres revues de la littérature concluent à une absence de différence entre les brackets auto-ligaturants et les brackets conventionnels concernant l'alignement initial mandibulaire Yang (115), Miles (116), Fleming (117), Chen (118), Celar (119), Pandis (41), Papageorgiou (120), Dehbi (121).

Concernant l'efficacité de l'alignement maxillaire, nous ne disposons que d'un seul essai contrôlé randomisé (122) comparant les brackets actifs aux brackets passifs avec 33 patients par groupe. Celui-ci conclut à une absence de différence significative.

Conclusions :

Actuellement, aucune différence cliniquement significative ne peut être mise en évidence concernant l'efficacité de l'alignement antérieur mandibulaire.

5.5.6. Fermeture des espaces d'extraction :

La fermeture des espaces d'extraction est souvent étudiée par des « *split-mouth designs* » où la rétraction de la canine (le plus souvent) est observée d'un côté avec un type d'attache, et de l'autre côté avec un autre type d'attache. Ceci est valide si la rétraction se fait de façon indépendante d'une héli-arcade à l'autre.

Analyse des études *in-vivo* :

A ce jour, aucune étude ne permet de comparer par ce design les brackets passifs et les brackets actifs.

Jayachandran (123) compare de façon prospective la rétraction et la perte d'ancrage au niveau maxillaire suite à l'extraction de premières prémolaires, entre les brackets auto-ligaturants actifs et les brackets conventionnels. Les mesures se font sur modèles, et de manière fiable grâce à deux implants palatins au niveau molaire. Dix patients sont inclus dans chaque groupe. Des différences statistiquement significatives sont retrouvées du côté droit, en faveur des brackets auto-ligaturants : la rétraction canine est supérieure de 0,27 mm en moyenne ; et la rétraction incisive supérieure de 0,8 à 1 mm.

Machibya 2012 (45) et De Almeida 2013 (124) comparent rétrospectivement la perte d'ancrage molaire maxillaire et mandibulaire des cas avec extractions des premières prémolaires, traités avec les brackets passifs versus des brackets conventionnels : la différence n'est pas statistiquement significative.

Zhou a mené en 2015 une revue systématique à propos de la rétraction canine et de la perte d'ancrage molaire au cours de traitements par brackets auto-ligaturants et par brackets conventionnels. Il inclut deux études rétrospectives (De Almeida, Machibya), deux *split-mouth designs* (Burrow (125) et Oz (126)), et deux essais contrôlés randomisés (Da Costa Monini et Mezomo). Il conclut également à une absence de différence entre les deux groupes étudiés.

La perte d'ancrage mandibulaire (mm/mois) a été étudiée uniquement par Monini et ne révèle pas de différence entre les brackets actifs et les brackets conventionnels.

Conclusion :

Ainsi, la vitesse de fermeture d'espace n'est pas plus rapide avec un type de système par rapport à un autre. Les études disponibles sont pour la plupart des split-mouth designs, s'exposant à davantage de biais. Au vu de l'hétérogénéité des protocoles, les conclusions sont à interpréter avec prudence.

5.5.5. Résultats occlusaux (indice d'irrégularité) :

Essai contrôlé randomisé montrant une différence concernant les résultats occlusaux :

Wahab (114) trouve une différence statistiquement significative de l'indice d'irrégularité de Little à l'arcade maxillaire en faveur des brackets conventionnels (-5,35 (2,27) pour Mini Diamond® contre -2,13 (3,03) pour Damon3®) seulement entre la 4^{ème} semaines et la 8^{ème} semaine après collage et mise en place d'un arc NiTi 0.014 dans des brackets avec une gorge de 0.022x0.028 inch.

Etudes ne montrant pas de différence concernant les résultats occlusaux :

Différentes méthodes de calcul des résultats occlusaux existent. Deux essais contrôlés randomisés (DiBiase (127) et Fleming (48)) ont utilisé le Peer Assessment Rating (ou PAR) score comme critère de jugement pour évaluer l'occlusion pré et post-traitement. Cette méthode permet d'évaluer dans les trois sens de l'espace la malocclusion d'une arcade complète. Dans chacune de ces études, les auteurs jugent les deux groupes (passifs versus conventionnels) comparables quant à l'âge, le type de malocclusion et le traitement réalisé. Ainsi, on peut considérer que ces deux groupes diffèrent seulement par le type de bracket utilisé. Les deux études présentent une faible hétérogénéité. La méta-analyse permet ainsi de comparer 55 patients porteurs de brackets auto-ligaturants passifs (SmartClip® dans l'étude de Fleming et Damon 3® dans l'étude de DiBiase) et 47 patients porteurs de brackets conventionnels (Victory® dans l'étude de Fleming et Synthesis® dans l'étude de DiBiase). Les réductions du PAR score au cours du traitement sont similaires entre les deux groupes.

Johansson en 2012 (109) utilise l'index ICON pour juger l'évolution entre l'occlusion initiale et finale ; cette mesure prend en compte les surplomb et recouvrement incisifs, mais aussi l'encombrement et les rapports inter-arcades transversaux et antéro-postérieurs. Cet essai contrôlé randomisé compare les brackets passifs Time2® aux brackets conventionnels et conclut que l'amélioration de l'ICON n'est pas influencée par le type de bracket.

Dans la majorité des études prospectives, l'index d'irrégularité de Little (129) est utilisé pour évaluer les résultats occlusaux, et ce à différents temps du traitement. En général, la comparaison s'effectue entre le collage et la fin de la phase de nivellement-alignement. Cet indice a l'inconvénient de se restreindre au secteur incisivo-canin.

Scott en 2008 (97) mesure la différence de l'index d'irrégularité de Little entre le collage et le premier changement d'arc (passage de NiTi 0.014 à NiTi 0.014x0.025 copper NiTi) chez 32 patients porteurs de brackets Damon 3® et 28 patients porteurs de brackets Synthesis® ; tous ayant eu des extractions de premières prémolaires mandibulaires. Selon l'auteur, le type de bracket utilisé n'a pas d'impact sur l'alignement initial.

Ong en 2010 dans une étude clinique prospective non randomisée (131) compare la réduction de l'indice d'irrégularité de Little chez des patients ayant des extractions bilatérales à l'arcade maxillaire ou à l'arcade mandibulaire. 44 arcades traitées avec brackets auto-ligaturants passifs et 40 arcades traitées avec brackets conventionnels sont analysées. Il ne décèle pas de différence statistiquement significative entre les deux types de brackets ni à 10 semaines, ni à 20 semaines après pose du multi-attaches.

Conclusion :

Les études actuellement disponibles ne montrent pas de différence concernant les résultats occlusaux, quel que soit l'indice utilisé pour l'évaluer, durant la phase d'alignement entre les brackets auto-ligaturants (passifs ou actifs) et les brackets conventionnels.

5.5.7. Dimensions transversales :

Historiquement, il a été montré que la distance inter-canines ne devait pas être modifiée au cours du traitement orthodontique, afin d'en garantir sa stabilité au long terme (132). En effet, l'expansion inter-canines obtenue tend à récidiver au long terme, après le traitement (133).

Etudes in-vivo sur animal :

Kraus (134) sur des modèles animaux, s'intéresse à la résorption osseuse des canines et molaires de chiens avec des brackets auto-ligaturants passifs, pendant 9 semaines. Il conclut à une expansion de 3,5 mm en moyenne, avec une inclinaison coronovestibulaire de 15° en moyenne. Ceci s'accompagne d'une apposition osseuse apicale mais également d'une résorption osseuse cervicale.

Etudes in-vivo humaines :

○ Rétrospectives :

Vajaria 2011 (135) conclut à une différence significative de 3,4 mm pour l'augmentation de la distance inter-molaires pendant le traitement, entre les brackets passifs Damon® et les brackets conventionnels. Plusieurs études sans groupe contrôle concluent à une augmentation des dimensions transversales après traitement avec brackets auto-ligaturants passifs : augmentation du périmètre d'arcade de 2,5 mm en moyenne et expansion prémolo-molaire significative (Lineberger (136)); augmentations significatives des dimensions transversales de la canine à la seconde molaire, excepté pour les secondes molaires inférieures (Maltagliati (137)).

Une autre étude de Shook (138) s'intéresse à la mesure des couloirs vestibulaires chez 39 patients traités avec Damon versus 45 patients traités avec des brackets conventionnels : la taille des couloirs vestibulaires ne diffère pas significativement entre les deux groupes.

Deux autres études d'Atik comprenant un groupe rétrospectif de patients traités avec brackets auto-ligaturants passifs, concluent à des changements de dimensions

d'arcades similaires entre les trois types de brackets, à l'arcade maxillaire (139) et à l'arcade mandibulaire (140).

- Etudes prospectives sur les dimensions transversales entre le début et la fin de l'alignement initial :

De Almeida a mené une étude clinique prospective randomisée (148), concernant les dimensions transversales à l'arcade mandibulaire, comparant deux groupes de patients (13 patients traités par brackets auto-ligaturants passifs, 12 patients traités par brackets conventionnels), entre le début de traitement et 7 mois après. L'expansion obtenue était similaire entre les deux groupes, au regard des distances inter-secondes prémolaires, inter-premières molaires et inter-premières prémolaires. De plus, la largeur de la base osseuse mandibulaire et l'épaisseur d'os vestibulaire en regard des apex étaient similaires entre les deux groupes, par analyse comparative sur tomographie volumique à faisceau conique.

Les conclusions de l'étude de Ibiapina qui suit le même protocole (comparaison à 6 mois) sont similaires (142), mais les échantillons sont très faibles (8 patients par groupe).

Une autre étude plus récente de Mateu avec des échantillons de petite taille (143) conclut à un développement transversal plus important avec les brackets Damon® comparé aux brackets conventionnels (12 patients par groupe); et de façon significative (0,4 mm en moyenne) pour la distance inter-premières prémolaires maxillaires. Cependant, les distances inter-canines étaient significativement plus grandes dans le groupe de brackets conventionnels (en moyenne, de 0,6 mm au maxillaire et de 1,5 mm à la mandibule).

- Etudes prospectives sur les dimensions transversales entre le début et la fin du traitement :

Seuls trois essais contrôlés randomisés mettent en évidence des différences statistiquement significatives au niveau inter-canines et inter-molaires. Ceux-ci comparent les brackets passifs aux brackets conventionnels :

- Pandis 2011 (144) conclut à une distance inter-canines inférieure avec les brackets passifs (0,7 mm en moyenne)
- Pandis 2007 (110) et Fleming 2009 (145) concluent à une distance inter-molaires inférieure avec les brackets conventionnels (de 0,91 mm à 1,61 mm en moyenne).

La revue de Yang 2017 (47) inclut 4 essais contrôlés randomisés (110), (144), (130), (145), concernant les changements des dimensions transversales à l'arcade mandibulaire. A la fin du traitement, les brackets passifs augmentaient la distance inter-canines comparativement aux brackets conventionnels ; les brackets conventionnels augmentaient la distance inter-molaires comparativement aux brackets passifs. Ces différences étaient de 0,5 mm en moyenne donc cliniquement peu significatives.

Concernant les distances inter-prémolaires maxillaires, 3 essais contrôlés randomisés sont présents dans la littérature (146), (147), (50) . Aucune différence statistiquement significative n'est mise en évidence, et les études ne montrent pas d'hétérogénéité. L'étude de Fleming 2009 compare les distances inter-prémolaires mandibulaires : il ne décèle pas de différence entre les brackets auto-ligaturants passifs et les brackets conventionnels.

Conclusions :

Les dimensions transversales semblent être modifiées de façon similaire avec les trois types de brackets au cours des traitements orthodontiques. La récurrence post-traitement a été retrouvée de façon statistiquement significative à 2 ans (148) au niveau prémolo-molaire avec les brackets Damon®.

5.5.8. Contrôle du torque antérieur :

Il est essentiel de contrôler l'inclinaison vestibulo-linguale des dents (torque) lors des traitements orthodontiques ; ceci garantit une occlusion stable et un sourire esthétique (149).

Les attaches auto-ligaturantes actives seraient plus efficaces dans l'expression du torque comparé aux brackets passifs (150), ce qui pourrait importer dans les phases de finitions.

In-vitro :

Une revue systématique d'études *in-vitro* de 2017 d'Al Thomali (151) s'intéresse à l'expression du torque au sein des trois types de brackets en incluant 9 études. 7 d'entre elles comparent les brackets auto-ligaturants aux conventionnels (152), (153), (154), (155), (91), (156), (154), et 2 études comparent les brackets auto-ligaturants actifs et passifs ((157), (158)). Les conclusions sont :

- le torque exprimé est supérieur avec les brackets conventionnels comparativement aux brackets auto-ligaturants
- il y a peu de différence entre les brackets actifs et passifs.

En outre, Brauchli (62) ajoute que les variations de dimensions du slot conduisent à un torque exprimé avec les brackets actifs de 2° de plus comparé aux brackets passifs. Ainsi, la différence entre ces deux types de brackets est cliniquement non significative.

In-vivo :

- o Rétrospectives :

Machibya (45) (69 patients avec extractions des 4 premières prémolaires) conclut à une vestibuloversion de l'incisive inférieure supérieure de 3,6° avec les brackets passifs SmartClip® comparés aux brackets conventionnels.

Lombardo étudie l'inclinaison des incisives au cours du traitement chez 54 patients présentant un encombrement modéré à sévère (IIL 6,5 à 13), traités sans extraction. Il conclut que l'inclinaison de l'incisive maxillaire (par rapport au plan bispinal, reliant l'épine nasale antérieure et postérieure) est significativement augmentée aussi bien avec les brackets auto-ligaturants passifs Damon® qu'avec les brackets conventionnels ; mais que l'inclinaison de l'incisive inférieure par rapport au plan mandibulaire (IMPA) est significativement augmentée avec les brackets conventionnels (+6° à +9°) à la fin du traitement. L'augmentation de l'IMPA est en revanche non significative (+4°) avec les brackets auto-ligaturants passifs.

Une étude plus récente auprès de 50 patients (159) compare l'inclinaison incisive auprès de patients traités soit par brackets Damon®, soit par brackets conventionnels. L'auteur conclut à des valeurs similaires entre ces deux groupes. Cependant, les patients ont été inclus de façon non randomisée dans cette étude.

- Méta-analyse :

Notre méta-analyse conclut, à partir de huit essais contrôlés randomisés, qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les trois types de brackets concernant :

- l'inclinaison de l'incisive maxillaire dans les cas sans extraction (entre les brackets passifs et conventionnels (146), (160), (147)
- l'inclinaison de l'incisive centrale mandibulaire (161)
- le changement de l'IMPA dans les cas sans extractions (147), (162), (145), (110).

En revanche, des différences significatives sont observées quant à l'IMPA des cas avec extractions de première prémolaire mandibulaire (130), (111).

Chen conclut également à une inclinaison vestibulaire de l'incisive mandibulaire supérieure (1,5° en moyenne) avec les brackets conventionnels comparés aux brackets auto-ligaturants passifs, dans sa méta-analyse avec deux études cliniques prospectives incluant des cas sans extractions (163), (164) et l'essai contrôlé randomisé de Scott avec extractions des premières prémolaires mandibulaires (130). Les mesures finales étaient réalisées soit en fin d'alignement, soit en fin de traitement.

Néanmoins, la majorité des revues systématiques antérieures concluent à une inclinaison incisive similaire entre les brackets auto-ligaturants et les brackets conventionnels, avec une méta-analyse (120) ou sans méta-analyse associée (47), (117).

Conclusions :

Il est aujourd'hui montré que les brackets auto-ligaturants modifient l'inclinaison des incisives de façon similaire aux brackets conventionnels, avec de faibles différences dans les cas avec extractions de prémolaires à la

mandibule. En effet, chez ces patients, la vestibuloversion en fin d'alignement serait moindre avec les brackets auto-ligaturants actifs (-2,5°) et avec les brackets auto-ligaturants passifs (-1,6°) par rapport à celle obtenue avec des brackets conventionnels. D'autres études avec des échantillons plus importants sont nécessaires pour appuyer ces conclusions.

5.5.9. Résorptions radiculaires :

Selon Martarese (105), une réduction des forces appliquées sur les unités dentaires est souhaitable parce qu'elles engendrent une résorption osseuse directe (qui va de pair avec un mouvement dentaire plus rapide) et prévient les résorptions radiculaires.

Ainsi, les attaches auto-ligaturantes permettraient d'après les fabricants de réduire les résorptions radiculaires grâce aux forces légères et la limitation du « round tripping » ou mouvement de « va-et-vient » des dents.

Les résorptions radiculaires liées au traitement orthodontique affectent le plus souvent les incisives. C'est pourquoi ces dents sont choisies dans les études s'intéressant aux résorptions radiculaires. En outre, elles sont monoradiculées donc l'analyse radiologique est facilitée. Différents types d'examen radiographiques sont exploités dans la littérature, des rétro-alvéolaires, des orthopantomogrammes et des tomographies volumiques à faisceau conique.

- Etudes rétrospectives :

Blake en 1995 (165) émet l'hypothèse d'un taux de résorption radiculaire augmenté avec les attaches auto-ligaturantes actives comparées aux conventionnelles, lié au clapet actif qui induirait des forces continues et un torque supérieur ; mais finalement, il ne met pas en évidence de différence entre ces deux systèmes.

L'étude de Jacobs (166) comporte un échantillon important : des radiographies panoramiques pré et post-traitement orthodontique de 139 patients porteurs de brackets auto-ligaturants passifs et 74 patients porteurs de brackets conventionnels

ont été analysées. Aucune différence concernant les résorptions radiculaires apicales des incisives entre les deux groupes n'a été mise en évidence.

De même, Pandis ne décèle pas de différence sur radiographies panoramiques au niveau des incisives centrales maxillaires (167).

Handem en 2016 utilise des clichés radiologiques péri-apicaux, permettant une analyse plus fiable avec une meilleure définition de l'image (168). Les résorptions radiculaires incisives entre le début et la fin du traitement sont similaires entre les patients traités par brackets auto-ligaturants passifs Damon® et les patients traités par brackets conventionnels.

- Etudes prospectives :

Une revue de la littérature de Yi (169) inclut cinq études dans la méta-analyse dont deux études de cohorte (170), (171), deux études prospectives (165), (87) et un essai contrôlé randomisé (130). La seule différence statistiquement significative entre les brackets auto-ligaturants et les brackets conventionnels concerne les incisives centrales maxillaires (résorption radiculaire réduite de 0,31mm en moyenne avec les brackets auto-ligaturants). Cette différence est cliniquement peu significative.

D'autres revues de la littérature concluent à une absence de différence (173), (174).

Un essai contrôlé randomisé a été mené par Scott (130) auprès de 32 patients porteurs de brackets auto-ligaturants passifs et 28 patients porteurs de brackets conventionnels. La mesure s'est faite sur clichés radiologiques péri-apicaux. Cette étude ne met pas en évidence de différence statistiquement significative.

Un autre essai contrôlé randomisé a été mené par Leite (175) comparant les brackets auto-ligaturants passifs et conventionnels ; à l'aide d'une tomographie volumique à faisceau conique ou CBCT réalisée au début du traitement et six mois après. Les résorptions radiculaires apicales sont similaires entre ces deux groupes.

Plus récemment, une étude prospective (176) suivant un protocole similaire (16 patients par groupe et une analyse CBCT à 9 mois après le début du traitement) présente les mêmes résultats.

Conclusion :

Actuellement, aucune différence n'est établie entre les brackets conventionnels, auto-ligaturants actifs, et auto-ligaturants passifs concernant les résorptions radiculaires liées au traitement orthodontique. Des études contrôlées randomisées avec des échantillons plus importants doivent être menées pour une comparaison à haut niveau de preuve.

5.5.10. Taux de décollement, casse :

Concernant le nombre d'urgences, Hamilton (46) constate un nombre d'urgences supérieur dans le groupe auto-ligaturants actifs comparé au groupe conventionnel (en moyenne 0,45 urgences en plus). Mais ce résultat, bien que statistiquement significatif, n'est pas cliniquement significatif.

Stasinopoulos (177) analyse rétrospectivement chez 78 patients traités par trois praticiens, les décollements de brackets. Il n'y a pas de différence entre les brackets conventionnels et les brackets auto-ligaturants passifs.

DiBiase, dans un essai contrôlé randomisé (34), ne remarque pas de différence significative dans le taux de décollement durant le traitement entre les brackets passifs Damon 3MX® et les brackets conventionnels.

Dans notre méta-analyse, seul un essai contrôlés randomisé (178) et deux split-mouth designs (112), (160) comparant les brackets passifs aux brackets conventionnels ont été inclus : avec une période d'observation variant des vingt premières semaines à la totalité du traitement, aucune différence statistiquement significative n'est mise en évidence entre les brackets passifs et conventionnels.

Conclusion :

Les trois types de brackets semblent présenter des taux de décollements similaires.

5.5.11. Lésions carieuses :

Peu d'études sont disponibles à ce sujet.

Une étude rétrospective (179) compare à partir de photographies pré et post-traitement les lésions carieuses débutantes (ou white spot). Deux examinateurs ont analysé les photographies de façon indépendante, avec une bonne reproductibilité intra- et inter-examineur. Il se forme davantage de nouvelles lésions carieuses dans le groupe conventionnel comparé au groupe auto-ligaturant d'après cette étude. Bien que l'âge et l'hygiène orale soient des facteurs influençant l'apparition de lésions carieuses, il n'y avait pas de différence entre les deux groupes étudiés concernant les « patients âgés » et l'hygiène orale.

Conclusion :

Il est impératif de réaliser d'autres études à plus fort niveau de preuve (avec une analyse clinique et non photographique) pour avoir des conclusions plus fiables sur le risque carieux.

5.5.12. Santé parodontale :

Il est démontré que les appareillages fixes multi-attaches (métalliques ou céramiques) réduisent l'accessibilité à l'hygiène orale, augmentant l'accumulation de plaque et pouvant créer des déminéralisations amélares (180).

Les ligatures (métalliques ou élastomériques) aggraveraient cette accumulation de plaque potentialisant la colonisation microbienne (181). D'après les laboratoires distributeurs, les brackets auto-ligaturants faciliteraient alors le contrôle de plaque en s'affranchissant de ligatures.

In-vitro :

L'étude de Garcez (182) montre qu'il y a plus de rétention de S.Mutans sur les brackets avec ligatures conventionnelles élastomériques que sur les brackets auto-ligaturants actifs.

In-vivo :

Sunil (183) analyse au microscope la rétention de micro-organismes sur les brackets de prémolaires extraites, 1,2 et 3 semaines après le collage. Il constate une rétention plus importante de plaque sur les brackets conventionnels, comparé aux brackets auto-ligaturants.

Cependant, Bergamo (184) observe davantage d'accumulation bactérienne (complexes rouges et oranges) sur les brackets auto-ligaturants, 60 jours après le collage (par méthode d'hybridation de l'ADN).

Buck (185) utilise la bioluminescence et montre qu'il n'y a pas de différence d'accumulation de plaque ni de survenue de « white spot » entre les brackets conventionnels avec ligature élastomérique et les brackets auto-ligaturants après un an de traitement.

Dans l'étude de Baka, il n'y a pas non plus de différence entre les brackets avec ligatures métalliques et les brackets auto-ligaturants lorsque la méthode de la réaction en chaîne de la polymérase est utilisée pour détecter la présence de colonies bactériennes (186).

Gomes de Nascimento (187) réalise une revue systématique pour explorer la formation et l'adhésion des colonies de Streptococcus Mutans : cinq essais contrôlés randomisés (188), (189), (190), (191), (192) et une étude clinique prospective (193) sont incluses. Il n'y a pas d'influence du type de brackets sur l'adhésion et la colonisation de Streptococcus Mutans.

Notre méta-analyse permet d'évaluer plusieurs paramètres cliniques parodontaux mesurés avant la pose de l'appareillage et 4-5 semaines après chez des patients porteurs de brackets conventionnels ou de brackets auto-ligaturants passifs, grâce à cinq essais contrôlés randomisés. Aucune différence statistiquement significative n'est décelée concernant :

- L'indice de plaque : (194), (195), (196), (197), (147), (198)
- L'indice gingival : (196), (197), (195), (198)

- Le niveau d'attache clinique : (195), (197)

Seul le saignement au sondage présente une différence entre les deux groupes étudiés : la méta-analyse de deux essais contrôlés randomisés ((197), (198)) montre une différence statistiquement significative en faveur des brackets auto-ligaturants, qui réduisent de 0,10 en moyenne le Bleeding on Probing à 4-5 semaines; mais ceci est cliniquement peu significatif.

Ces conclusions corroborent également avec les revues systématiques de Arnold (199) de Huang 2018 (200). Cette dernière met en relief que la seule différence statistiquement significative se trouve une semaine après pose de l'appareillage avec un meilleur contrôle de l'halitose pour les brackets auto-ligaturants, avec un niveau de preuve faible.

Conclusion :

Il n'est pas démontré d'après les études à plus haut niveau de preuve que les brackets auto-ligaturants (actifs ou passifs) améliorent l'hygiène orale des patients.

5.5.13. Confort pour le patient :

- **Douleurs :**

Les traitements orthodontiques sont responsables de douleurs et d'inconfort ressentis par les patients, dans la majorité des cas durant la première semaine qui suit la pose de l'appareillage (201).

De par la friction réduite et les forces légères (29), les systèmes auto-ligaturants seraient plus confortables pour le patient (moins de compressions du ligament alvéolo-dentaire et des vaisseaux sanguins, responsables de douleurs). En outre, ils seraient moins blessant pour les tissus mous (202) comparés à leurs homologues conventionnels.

Tecco (203) conclut dans son étude prospective que les patients traités avec les brackets conventionnels rapportent une douleur plus intense et sur une période plus longue comparé aux brackets auto-ligaturants passifs. La douleur à la mastication est cependant supérieure dans le groupe traité avec les brackets auto-ligaturants.

La revue de la littérature de Celar (119) permet d'analyser la douleur ressentie par le patient durant la première semaine après le collage de l'appareil (4h, 24h, 3 jours et 7 jours après la pose) avec les trois types de brackets. **Aucune différence statistiquement significative n'est mise en évidence entre les trois types de brackets.**

Ces résultats corroborent avec ceux d'autres études recourant à des outils de mesure de la douleur différents (147), (204).

La prise d'antalgiques la première semaine n'est pas différente entre le groupe passif et le groupe conventionnel (205), (206) : ces deux essais contrôlés randomisés sont néanmoins hétérogènes.

Selon un essai contrôlé randomisé à faible risque de biais (205), **l'insertion et la désinsertion** d'un arc rectangulaire en acier 0.019X0.025 est significativement perçue comme plus douloureuse (de 18 points sur une échelle de 0 à 100) chez les patients traités à l'aide d'attaches auto-ligaturantes passives par rapport aux brackets conventionnels.

Bertl (207) conclut aussi dans une étude prospective en bouche fractionnée auprès de 18 patients, à des perceptions de la douleur supérieures à l'insertion et à la désinsertion d'un arc rectangulaire avec les brackets auto-ligaturants.

- **Qualité de vie :**

L'indice Oral Health Related Quality of Life permet d'évaluer la qualité de vie des patients (208).

Othman (209) l'utilise dans un essai contrôlé randomisé comparant les trois types de brackets auprès de 60 patients (20 par groupe). Aucune différence statistiquement

significative n'est retrouvée ni au moment du collage, ni à la première activation, ni à la deuxième activation, que le questionnaire soit rempli immédiatement, ou avant le rendez-vous suivant. Le risque de biais est faible.

Lai (210) a également réalisé une étude prospective randomisée où était évaluée la qualité de vie grâce à deux indices : le OHRQoL Modifié avec 14 items ; et le Short Form avec 36 items. Il ne met pas en évidence non plus de différence entre les brackets passifs et les brackets conventionnels.

Une étude prospective menée par Zhou en 2014 (211) chez 150 patients conclut à des scores OHRQoL similaires entre les patients traités avec brackets conventionnels et les patients traités avec les brackets auto-ligaturants passifs.

Conclusions :

Le patient aura plus de douleurs lors de l'insertion et de la désinsertion d'un arc rectangulaire dans les brackets auto-ligaturants. Il n'y a pas de différence entre les trois types de brackets concernant les douleurs ressenties par le patient durant la première semaine après la pose. De même, la qualité de vie est comparable entre ces trois types de brackets.

5.5.14. Evaluation des résultats :

Damon rapporte une meilleure **gestion parodontale** avec les brackets auto-ligaturants. Une récente étude prospective (212) incluant 22 patients traités sans extractions avec des brackets auto-ligaturants Damon 3MX® met en évidence l'expansion significative des arcades obtenues après traitement. Cela se produit par un tipping des dents, et s'accompagne d'une **perte osseuse significative** lorsque les radiologies par tomographie volumique à faisceau conique (CBCT) pré et post-traitement sont analysées (perte en hauteur et en épaisseur de l'enveloppe osseuse alvéolaire, de façon significative au niveau des incisives centrales maxillaires et des premières molaires). Cela est aggravé par l'encombrement initial et la fine épaisseur osseuse initiale.

Une étude rétrospective de Anand (213) s'est intéressée à l'**efficacité du traitement** entre les brackets auto-ligaturants Damon Q® et les brackets conventionnels, chez deux praticiens. Pour le premier praticien, 74 patients ont été analysés ; seule l'augmentation du périmètre d'arcade est significativement supérieure dans le groupe auto-ligaturant. Pour le second praticien, 34 patients sont inclus ; il y a plusieurs différences significatives. Avec les brackets auto-ligaturants, il y a une augmentation des dimensions transversales, une durée de traitement plus courte, moins de rendez-vous, moins de réduction du score PAR, plus d'urgences liée à un arc qui pique. Cependant, ces faibles échantillons nous empêchent d'avoir des conclusions fiables.

Une étude de Yu 2014 (209) compare la **stabilité** des traitements par brackets auto-ligaturants comparés aux traitements par brackets conventionnels. L'évaluation s'est faite grâce aux indices de Little et le PAR. L'âge moyen des patients était 13,5 ans avec un suivi moyen de 7,5 ans +/- 1,5 ans. Il n'a pas trouvé de différence entre les trois types de brackets.

5.5.15. Enquête sur les pratiques des praticiens : comparaison des brackets conventionnels versus les brackets auto-ligaturants :

Prettyman (215) a mené un sondage auprès d'**orthodontistes** aux USA sur leur **perception des brackets auto-ligaturants et des brackets conventionnels**. Un taux de réponse de 44% est obtenu. Pour plus de la moitié des sondés, il n'y a pas de différence entre les deux types concernant le temps de traitement, les douleurs ressenties au fauteuil par les patients, le nombre de rendez-vous d'urgences, le nombre de cas avec extractions, la stabilité au long terme. En revanche, deux tiers d'entre eux rapportent des rendez-vous plus rapides et une efficacité de l'alignement initial supérieure. Plusieurs paramètres concernant les brackets conventionnels sont néanmoins préférés par les orthodontistes : le moindre coût, et les finitions plus aisées.

VI. Discussion :

Shivapuja il y a presque 25 ans (58), en visionnaire, concluait que les brackets auto-ligaturants remplaceront à l'avenir les brackets conventionnels... Cette assertion est controversée d'après ce que nous venons de détailler dans notre revue de la littérature.

Concernant le **temps de traitement**, plusieurs études vues précédemment concluent à une durée de traitement inférieure avec les brackets auto-ligaturants. Cependant, ces études sont menées rétrospectivement et comportent des biais. Elles sont malgré tout citées pour exemple sur les sites internet des distributeurs et dans les catalogues commerciaux. D'autres études (127), (48), (128), (50), (178) à plus haut niveau de preuve contredisent ces conclusions. Un paramètre à discuter est la planification thérapeutique, notamment la prescription ou non d'extractions dentaires au cours du traitement. Une prise en charge avec extractions est de fait plus longue qu'une n'en nécessitant pas. Dans les études de Cattaneo et de Fleming ((48) et (50)), les patients inclus n'avaient pas d'extractions. Dans les études de O'Dywer (178) et de Dibiase (127), les patients avec ou sans extractions sont répartis équitablement entre les groupes de brackets étudiés. En revanche, l'étude de Johannson (128) comporte plus de patients avec extractions dans le groupe conventionnel comparé au groupe auto-ligaturant, et ce, de façon statistiquement significative. Cependant, après ajustement sur le nombre de patients suivis avec des extractions, la durée du traitement est plus courte dans le groupe traité par attaches conventionnelles comparé au groupe traité par attaches auto-ligaturantes passives.

Deux autres paramètres impliqués dans la durée d'un traitement sont la séquence d'arcs et l'intervalle de temps entre chaque rendez-vous. Ils n'étaient pas similaires entre les études sus-citées. Ceci conduit à une certaine hétérogénéité entre celles-ci et à des conclusions qu'il faudra modérer.

Les résultats *in-vitro*, notamment ceux testant un certain nombre de brackets colinéaires, concluant à une **résistance au glissement plus faible** des brackets auto-ligaturants. Cette faible résistance au glissement est recherchée au cours de certaines

étapes du traitement en technique d'arc droit : lors du nivellement-alignement ou lors des techniques de glissement utilisé pour la rétraction de dents dans un site d'extraction.

Malheureusement, les résultats de ces études *in-vitro* ne sont malheureusement pas transposables *in-vivo*.

Pour rappel, cliniquement, les brackets ne sont pas réellement alignés avec l'arc, même après l'alignement initial des arcades. Par exemple, lors d'une phase de rétraction canine par technique de glissement suite à l'extraction d'une première prémolaire, les gorges des brackets ne sont pas parfaitement alignés avec l'arc rectangulaire qui sert de guide au déplacement. La translation de cette canine est alors désirée : il se produit une **succession de versions et redressements** de celle-ci, créant un angle entre l'axe de l'arc et l'axe de la gorge du bracket d'où une **résistance au glissement**. Ces forces de résistance au glissement sont **majorées** *in-vivo* et ne peuvent être mises en évidence dans les simulations *in-vitro*.

En outre, *in-vivo*, plusieurs paramètres entravent la parfaite reproductibilité des essais *in-vitro*. Les forces masticatoires, les fonctions orales, la largeur et la compressibilité du ligament parodontal, l'hygiène orale, la température et l'humidité jouent un rôle dans ces forces de résistance au glissement ; l'engagement incomplet de l'arc dans le slot du bracket peut aussi être incriminé. En 2009, Turpin qui était alors l'éditeur en chef de l'Angle Orthodontist, explique dans son éditorial les raisons pour lesquelles les études *in-vitro* présentent de différences majeures avec les situations cliniques *in-vivo* ; ce pourquoi leur publication est remise en cause (216).

Ainsi, se pose la question du rôle joué par les ligatures utilisées avec des brackets conventionnels dans la résistance au glissement. Dans ce sens, Burstone (217), explique que dans la plupart des situations cliniques, la **force de ligature** n'est qu'une **composante partielle** de la résistance au glissement, et il émet des réserves sur l'utilisation du terme d'attache « sans frottement » concernant les attaches auto-ligaturantes (Burstone and Choy 2015).

A la suite de ces différents points, nous ne remarquons effectivement pas, *in-vivo*, un glissement plus rapide et une résistance au glissement moindre avec les brackets auto-ligaturants, au regard des études sur le temps de traitement, le temps d'alignement initial et sur la fermeture des espaces d'extractions (cf 0, 5.6.3 et 5.6.5).

L'étude clinique prospective randomisée de Jayachandran (123) qui conclut que les brackets auto-ligaturants permettent de fermer plus rapidement les espaces d'extractions, montre cependant des résultats cliniquement peu significatifs (la rétraction canine est supérieure de 0,27 mm en moyenne ; et la rétraction incisive supérieure de 0,8 à 1 mm), observés uniquement d'un côté, avec des échantillons très faibles.

En outre, bien que les brackets passifs soient présentés comme ayant une moindre résistance au glissement que les brackets actifs, l'alignement semble être similaire entre ces deux groupes.

Il nous semble également important de rappeler que selon la situation clinique, la résistance au glissement peut être souhaitée, comme dans les zones d'ancrage, au cours de l'expression du torque ou lors des finitions (218).

Les praticiens rapportent d'ailleurs des difficultés techniques dans les étapes de finitions avec les brackets auto-ligaturants, car le clapet devient difficile à fermer lorsque l'arc est volontairement déformé, obligeant parfois à ajouter une ligature conventionnelle (215).

En parallèle d'un argument de réduction de la résistance au glissement au cours des traitements par multi-attaches avec des brackets auto-ligaturants, une volonté est affichée de réduire le nombre de patients soignés avec des extractions dentaires, même dans les situations où l'indication est médicalement posée. La « faible friction » associée à une « expansion physiologique » des arcades dentaires devraient résoudre les encombrements même sévères. D'après Damon (28), (29), il est possible de niveler les dents mal positionnées, avec un arc de faible diamètre. Selon lui, l'alignement se produit postérieurement par une expansion dento-alvéolaire latérale qu'il nomme « adaptation transversale postérieure », évitant une vestibuloversion accrue des incisives. Cette expansion se ferait lentement, les rendez-vous d'activation des arcs étant espacés, afin de ne pas interrompre la vascularisation du ligament alvéolo-dentaire et de l'os environnant. Ce phénomène permettrait d'éviter l'expansion maxillaire rapide, les extractions (202) ou la distalisation molaire.

Cependant, l'expansion annoncée comme un des avantages des brackets auto-ligaturants, induit des effets délétères au niveau parodontal d'après l'analyse radiologique tridimensionnelle vue précédemment (212).

L'inclinaison de l'incisive est peu modifiée avec les brackets auto-ligaturants, sauf dans certains cas spécifiques (extractions de premières prémolaires mandibulaires) où les différences peuvent atteindre 2,5° en moyenne. Il faut cependant garder à l'esprit que d'autres facteurs peuvent influencer la modification de l'inclinaison de l'incisive au cours du traitement (distance inter-bracket, position verticale du bracket (219), (220), alliage et dimensions de l'arc, dimensions du slot, angle d'engagement (221) ...). Ainsi, il revient au praticien de choisir la combinaison arc-bracket la plus adaptée.

En ce qui concerne les **résorptions radiculaires**, les études sur radiographies panoramiques présentent l'inconvénient de la déformation et de l'imprécision de l'image, ce qui peut aboutir à des sous-estimations. Actuellement, les avancées radiologiques, notamment par la tomographie volumique à faisceau conique, permet une estimation plus précise des longueurs radiculaires avant et après traitement. Il n'y a pas de preuve établie qu'une résorption radiculaire d'origine orthodontique soit supérieure avec un type de bracket en particulier.

Pandis (222) mentionne que les systèmes auto-ligaturants peuvent être rétentifs de plaque par leur système d'ouverture/fermeture non renouvelé au cours du traitement, contrairement aux ligatures. En outre, il est possible que du **tartre** formé au niveau de ce système entrave son bon fonctionnement. Ce paramètre ne peut pas être pris en compte dans les études *in vitro*, mais est présent *in-vivo*. Cela peut retarder le praticien dans la dépose des arcs, l'obligeant à réaliser un détartrage pour pouvoir ouvrir les clapets des brackets.

Kevin O'Brien (223) (professeur d'orthodontie à l'université de Manchester, Royaume-Uni) met en lumière plusieurs articles récents (224), (225) publiés dans la littérature par des auteurs appelés « key opinion leaders », autrement dit, des orthodontistes rémunérés par les laboratoires, pour promouvoir leurs produits. Le site internet de openpaymentsdata.cms.gov/physician offre une incroyable transparence de ces rétributions annuelles perçues par tout professionnel de santé. Ainsi, ces auteurs, clamant des avantages à utiliser les brackets auto-ligaturants et remettant en cause

les études à haut niveau de preuve largement détaillés dans cette thèse, ont incontestablement un intérêt financier, par le conflit d'intérêt qui les relie aux laboratoires distributeurs. Le Professeur Kevin O'Brien invite ses confrères à se méfier de cette propagande. Nous l'avons vu avec les brackets auto-ligaturants : **de nombreux avantages** annoncés par les entreprises commerciales ne sont pas **vérifiés cliniquement**. Les soins aux patients représentent en médecine un marché ; l'orthodontiste en tant que praticien de santé doit rester **critique** quant aux informations commerciales, parfois dissimulées derrière des articles publiés dans des revues scientifiques par des confrères orthodontistes. L'injonction d'Hippocrate « **Primum non nocere** » doit rester un objectif dans tout traitement médical, donnant la priorité au **meilleur rapport bénéfice-risque pour le patient**. Il ne faut pas nous fourvoyer et proposer à nos patients un bien meilleur traitement orthodontique grâce aux attaches auto-ligaturantes, alors que seule la réduction du temps au fauteuil est réellement significative. Ainsi, ces brackets auto-ligaturants, qu'ils soient actifs ou passifs ne semblent pas être tant révolutionnaires pour les traitements orthodontiques prodigués, mais constituent incontestablement un avantage ergonomique au cabinet.

VII. Conclusions

Depuis l'essor exponentiel des brackets auto-ligaturants ces 25 dernières années, de nombreuses études à haut niveau de preuve ont pu être réalisées ; donnant à l'orthodontiste les **avantages patents** de ce nouveau type d'attaches : **moins de temps au fauteuil car plus rapides à utiliser**. Bien qu'au départ l'enthousiasme envers ces nouvelles attaches aux avantages multiples était présent, il semblerait aujourd'hui qu'elles ne diffèrent pas fondamentalement des attaches conventionnelles, hormis le temps passé au fauteuil pour déposer et ligaturer les arcs, et une **douleur plus importante à l'insertion et la désinsertion** d'arc rectangulaire dans des attaches auto-ligaturantes. Entre les trois types de brackets étudiés, il n'y a pas de différence statistiquement significative concernant : le temps total de traitement, la durée et la qualité de l'alignement initial, l'expansion transversale, la fermeture des espaces, l'inclinaison des incisives à la fin du traitement, le taux de décollement, les résorptions radiculaires liées au traitement orthodontique, la santé parodontale, la douleur ressentie par le patient après la pose de l'appareillage, la qualité de vie. Ainsi, les arguments commerciaux ne sont pas prouvés, d'après les études à haut niveau de preuve, représentatives de la pratique clinique.

Leur coût supérieur non négligeable doit être noté, commercialement contré par un potentiel gain de temps clinique passé avec chaque patient appareillé en auto-ligaturant, permettant d'augmenter le nombre de cas traités.

L'orthodontiste éclairé par la preuve scientifique, pourra proposer à ses patients ces trois types d'attaches, lui précisant qu'avec les attaches auto-ligaturantes, les rendez-vous seront seulement plus rapides au fauteuil. La réussite des traitements orthodontiques repose dans tous les cas sur l'usage réfléchi et consciencieux des nouvelles technologies, suite à un diagnostic rigoureux et une thérapeutique adéquate et individualisée.

VIII. Bibliographie

1. Voudouris JC. Interactive edgewise mechanisms: form and function comparison with conventional edgewise brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1997 ; 111(2) : 119–40.
2. Björn Ludwig, Dirk Bister. Self-ligating brackets in orthodontics. Current concepts and techniques. [En ligne]. <https://www.decitre.fr/livres/self-ligating-brackets-in-orthodontics-9783131547019.html>. Consulté le 10 juin 2018.
3. Harradine N. The history and development of self-ligating brackets. *Semin Orthod.* 2008 ; 14(1):5–18.
4. Thorstenson et Kusy. Effect of archwire size and material on the resistance to sliding of self-ligating brackets with second-order angulation in the dry state. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2002.
5. Case C. The «Angle System» in orthodontia. *Dental Cosmos* 1890 ; 300-5.
6. Angle EH. New combinations of well-known forms of appliances. *Dental Cosmos* ; 1899 ; 41: 836-841.
7. Angle EH. Evolution of Orthodontia : Recent developments. *Dental Cosmos* 1912; 54, 853-867.
8. Angle, EH. New forms of orthodontic mechanism. *Dental Cosmos* 1916 ; 58 : 969-994.
9. Philippe J. Qui a inventé... le bracket ? *Revue d' Orthopédie Dento-Faciale.* 2002 ; 36 (3) : 365–9.
10. Angle EH. The latest and best in orthodontic mechanism. [En ligne]. <https://www.worldcat.org/title/latest-and-best-in-orthodontic-mechanism/oclc/658036263> Consulté le 10 janvier 2019.
11. Stolzenberg. The Russel attachment and its improved advantages. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1935.
12. Stolzenberg. The efficiency of the russel attachment. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1946.
13. Berger J, Byloff FK. The clinical efficiency of self-ligating brackets. *J Clin Orthod* 2001 ; 35: 304–308.
14. Lawrence F. Andrews, D.D.S. The Straight-Wire Appliance. *Br J Orthod.* 1979. Vol 6. :125-143.
15. Newman G. Biophysical properties of orthodontic rubber elastics. *JNJ State Dent Soc.* 1963.

16. Andreasen GF, Bishara S. Comparison of Alastik chains with elastics involved with intra-arch molar to molar forces. 1970 ; 40 (3) : 151–8.
17. Mendes B de AB, Neto Ferreira RA, Pithon MM, Horta MCR, Oliveira DD. Physical and chemical properties of orthodontic brackets after 12 and 24 months: in situ study. J Appl Oral Sci Rev FOB. 2014 ; 22 (3) : 194–203.
18. Gottlieb EL, Wildman AJ, Hice TL, Lang HM, Lee IF, Strauch EC. The Edgelok bracket. J Clin Orthod. 1972 ; 6 : 613–623.
19. Harradine N. The History and Development of Self-Ligating Brackets. Semin Orthod. 2008 ; 14 (1) : 5–18.
20. Berger JL. The engaging concept of self-ligation. Ont Dent 1999 ; 76 : 26–33.
21. Hanson D. The SPEED system: A report on the development of a new edgewise appliance. Am J Orthod Dentofac Orthop. 1980 ; 78 (3) : 243-265.
22. Berger JL. The SPEED appliance: a 14-year update on this unique self-ligating orthodontic mechanism. Am J Orthod Dentofac Orthop. 1994. 105 (3): 217-223.
23. Hanson GH. Superelastic Nickel Titanium Spring Clips for the SPEED Appliance. 2002 ; 36 (9) : 520-523.
24. Berger JL. The SPEED System: An Overview of the Appliance and Clinical Performance. Semin Orthod. 2008 ;14 (1) : 54–63.
25. Harradine, Birnie. The clinical use of Activa self-ligating brackets. 1996 ; 109 : 319-328
26. Berthollet L. Les boîtiers autoligaturants. Thèse d'exercice en chirurgie-dentaire. Université de Lyon 1. 2001.
27. Paduano S. Time efficiency of self-ligating vs conventional brackets in orthodontics: effect of appliances and ligating systems. Progress in orthodontics. 2008 ; 9 (2) : 30-36
28. Damon DH. The rationale, evolution and clinical application of the self-ligating bracket. Clin Orthod Res. 1998 ; (1) : 52–61.
29. Damon DH. The Damon low-friction bracket: a biologically compatible straight-wire system. J Clin Orthod JCO. 1998 ; 32 (11) : 670–80.
30. Harradine NW. Self-ligating brackets and treatment efficiency. Clin Orthod Res. 2001 ; 4 (4) : 220–7.
31. Damon D, Keim RG. JCO Interviews. J Clin Orthod 2012 ; 46 : 667–678.
32. Eberting JJ, Straja SR, Tuncay OC. Treatment time, outcome, and patient satisfaction comparisons of Damon and conventional brackets. Clin Orthod Res. 2001 ; 4 (4) :

228–34.

33. Matthieu Hutin. Les attaches auto-ligaturantes vestibulaires : avantages et inconvénients en orthodontie. Thèse de Docteur en Chirurgie Dentaire. Université de Nancy. 2016. page 5

34. Balteau M. Evaluation des pratiques orthodontiques dans les cabinets en France et comparaison avec les Etats-Unis. Mémoire présenté pour le Diplôme d'Etudes spécialisées en orthopédie dento-faciale. 2018.

35. Keim RG, Gottlieb EL, Iii DSV, Vogels PB. 2014 JCO Study of Orthodontic Diagnosis and Treatment Procedures. 2014 ; (10) : 24.

36. Trevisi DH. The SmartClip™ Self-Ligating Appliance System. Pages 1-31.

37. SmartClip™ Self-Ligating Appliance System Wire Engagement and Insertion Technique. © 2005 ; 12 : 173-1.

38. Voudouris J. Entretien avec le Dr John Voudouris - Propos recueillis par le Dr Olivier Mauchamp et aimablement traduits par le Dr Bernard Mounsi. Orthod Fr. 2008 ; 79 (3) : 143–50.

39. Ludwig B, Bister D. Self-Ligating Brackets in Orthodontics. Current Concepts and Techniques. Paris : Lavoisier ; 2015, 241p

40. The BMJ. Evidence based medicine: what it is and what it isn't. [En ligne]. <https://www.bmj.com/content/312/7023/71>. Consulté le 2 décembre 2018.

41. Pandis N, Fleming PS, Spineli LM, Salanti G. Initial orthodontic alignment effectiveness with self-ligating and conventional appliances: A network meta-analysis in practice. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2014 ; 145 (4) : 152–63.

42. Guyatt GH. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. BMJ. 2008 ; Vol 336.

43. Juneja P, Shivaprakash G, Chopra SS, Kambalyal PB. Comparative evaluation of anchorage loss between self-ligating appliance and Conventional pre-adjusted edgewise appliance using sliding mechanics – A retrospective study. Med J Armed Forces India. 2015 ; 71 (Supplement 2) : 362–8.

44. Tagawa. Damon System vs. Conventional Appliances. [En ligne]. <https://ormco.com/products/damon-system/clinical-abstracts/damon-vs-conventional.php>. Consulté le 17 novembre 2018.

45. Machibya FM, Bao X, Zhao L, Hu M. Treatment time, outcome, and anchorage loss comparisons of self-ligating and conventional brackets. Angle Orthod. 2012 ; 83 (2) : 280–5.

46. Hamilton R, Goonewardene MS, Murray K. Comparison of active self-ligating brackets and conventional pre-adjusted brackets. *Aust Orthod J.* 2008 ; 24 (2) :102–9.
47. Yang X, Xue C, He Y, Zhao M, Luo M, Wang P, et al. Transversal changes, space closure, and efficiency of conventional and self-ligating appliances : A quantitative systematic review. *J Orofac Orthop.* 2017. 79 : 1-10.
48. Fleming PS, DiBiase AT, Lee RT. Randomized clinical trial of orthodontic treatment efficiency with self-ligating and conventional fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2010 ; 137 (6) : 738–42.
49. DiBiase AT, Nasr IH, Scott P, Cobourne MT. Duration of treatment and occlusal outcome using Damon3 self-ligated and conventional orthodontic bracket systems in extraction patients: A prospective randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011 ; 139 (2) : 111–6.
50. Cattaneo PM, Treccani M, Carlsson K, Thorgeirsson T, Myrda A, Cevidane LHS, et al. Transversal maxillary dento-alveolar changes in patients treated with active and passive self-ligating brackets: a randomized clinical trial using CBCT-scans and digital models. *Orthod Craniofac Res.* 2011 ;14 (4) : 222–33.
51. Johansson K, Lundström F. Orthodontic treatment efficiency with self-ligating and conventional edgewise twin brackets. *Angle Orthod.* 2012. ;82 (5) : 929–34.
52. O'Dwyer L, Littlewood SJ, Rahman S, Spencer RJ, Barber SK, Russell JS. A multi-center randomized controlled trial to compare a self-ligating bracket with a conventional bracket in a UK population: Part 1: Treatment efficiency. *Angle Orthod.* 2015 ; 86 (1) : 142–8.
53. Maijer R, Smith DC. Time savings with self-ligating brackets. *J Clin Orthod JCO.* 1990 ; (1) : 29–31.
54. Turnbull NR, Birnie DJ. Treatment efficiency of conventional vs self-ligating brackets: effects of archwire size and material. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2007 ; 131 (3) :395–9.
55. Le Gall M, Bachet C, Dameron C. The time needed to refit an orthodontic wire: influence of the attachments. *Int Orthod.* 2014 ; 12 (4) : 431–42.
56. Miles P, Weyant R. Porcelain brackets during initial alignment: are self-ligating cosmetic brackets more efficient? *Aust Orthod J.* 2010 ; 26 (1) : 21–6.
57. Drescher D, Bourauel C, Schumacher HA. Frictional forces between bracket and arch wire. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1989 ; 96 (5) : 397–404.
58. Shivapuja PK, Berger J. A comparative study of conventional ligation and self-ligation bracket systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994. ; 106 (5) : 472–80.

59. Pizzoni L, Ravnholt G, Melsen B. Frictional forces related to self-ligating brackets. *Eur J Orthod.* 1998 ; 20 (3) : 283–91.
60. Henao SP, Kusy RP. Frictional evaluations of dental typodont models using four self-ligating designs and a conventional design. *Angle Orthod.* 2005 ; 75 (1) : 75–85.
61. Tecco S, Di Iorio D, Cordasco G, Verrocchi I, Festa F. An in vitro investigation of the influence of self-ligating brackets, low friction ligatures, and archwire on frictional resistance. *Eur J Orthod.* 2007 ; 29 (4) : 390–7.
62. Brauchli LM, Steineck M, Wichelhaus A. Active and passive self-ligation: a myth? Part 1: torque control. *Angle Orthod.* 2011 ; 82 (4) : 663–9.
63. Tecco S, Di Iorio D, Nucera R, Di Bisceglie B, Cordasco G, Festa F. Evaluation of the friction of self-ligating and conventional bracket systems. *Eur J Dent.* 2011 ; 5 (3) : 310–7.
64. Rajesh D, Sainat M.C, Chandradas G, Comparison of friction among low-friction ligation, conventional ligation and self ligation with conventional stainless steel and esthetic brackets e an in vitro study. *Indian J Dent.* 2014 ; 14-20.
65. Kumar D, Dua V, Mangla R, Solanki R, Solanki M, Sharma R. Frictional force released during sliding mechanics in nonconventional elastomerics and self-ligation: An in vitro comparative study. *Indian J Dent.* 2016 ; 7 (2) : 60–5.
66. Gandini P, Orsi L, Bertoncini C, Massironi S, Franchi L. In Vitro Frictional Forces Generated by Three Different Ligation Methods. *Angle Orthod.* 2008 ; 78 (5) : 917–21.
67. Read-Ward GE, Jones SP, Davies EH. A comparison of self-ligating and conventional orthodontic bracket systems. *Br J Orthod.* 1997 ; 24 (4) : 309–17.
68. Ben Rejeb Jdir S, Tobji S, Turki W, Dallel I, Khedher N, Ben Amor A. Brackets et frottement en orthodonti : étude expérimentale. *Orthod Fr.* 2015 ; 86 (3) : 255–64.
69. Rozzi M, Mucedero M, Franchi L, Cozza P. Friction in a hybrid system. An in vitro study. *Oral And Implantology.* 2010 ; 4 : 2-8.
70. Soltani KM, Golfeshan F, Alizadeh Y, Mehrzad J. Resistance to Sliding in Clear and Metallic Damon 3 and Conventional Edgewise Brackets: an In vitro Study. *J Dent Shiraz Iran.* 2015 ; 16 (1 Suppl) : 15–20.
71. Kapur R, Sinha PK, Nanda RS. Comparison of frictional resistance in titanium and stainless steel brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1999 ; 116 (3) : 271–4.
72. Khambay B. Evaluation of methods of archwire ligation on frictional resistance. *Eur J Orthod.* 2004 ; 26 (3) : 327–32.
73. Monteiro MRG, Da Silva LE, Elias CN, Vilella O de V. Frictional resistance of

self-ligating versus conventional brackets in different bracket-archwire-angle combinations. *J Appl Oral Sci.* 2014 ; 22 (3) : 228–34.

74. Hiroce M, Fernandes DJ, Elias CN, Miguel JAM. Sliding resistance of polycarbonate self-ligating brackets and stainless steel esthetic archwires. *Prog Orthod.* 2012 ; 13 (2) : 148–53.

75. 73. Vinay K, Venkatesh MJ, Nayak RS, Pasha A, Rajesh M, Kumar P. A comparative study to evaluate the effects of ligation methods on friction in sliding mechanics using 0.022" slot brackets in dry state: An In-vitro study. *Journal of International Oral Health.* 2014 ; 6 (2) : 76-83.

76. Franchi L, Baccetti T, Camporesi M, Barbato E. Forces released during sliding mechanics with passive self-ligating brackets or nonconventional elastomeric ligatures. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2008 ; 133 (1) : 87–90.

77. Gandini P, Orsi L, Bertoncini C, Massironi S, Franchi L. In Vitro Frictional Forces Generated by Three Different Ligation Methods. *Angle Orthod.* 2008 ; 78 (5) : 917–21.

78. Griffiths HS, Sherriff M, Ireland AJ. Resistance to sliding with 3 types of elastomeric modules. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2005 ; 127 (6) : 670–5.

79. Pasha, Vishwakarma, Narayan, Vinay, Shetty, Roy. Comparison of Frictional Forces Generated by a New Ceramic Bracket with the Conventional Brackets using Unconventional and Conventional Ligation System and the Self-ligating Brackets: An In Vitro Study. *Journal of International Oral Health.* 2015 ; 7 (9) : 108-113.

80. Hain M, Dhopatkar A, Rock P. The effect of ligation method on friction in sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2003 ; 123 (4) : 416–22.

81. Pillai AR, Gangadharan A, Kumar S, Shah A. Comparison of the frictional resistance between archwire and different bracket system: An in vitro study. *J Pharm Bioallied Sci.* 2014 ; 6 (1) : 150-155.

82. Sims AP, Waters NE, Birnie DJ. A comparison of the forces required to produce tooth movement ex vivo through three types of pre-adjusted brackets when subjected to determined tip or torque values. *Br J Orthod.* 1994 ; 21 (4) : 367–73.

83. Taylor NG, Ison K. Frictional resistance between orthodontic brackets and archwires in the buccal segments. *Angle Orthod.* 1996 ; 66 (3) : 215–22.

84. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Scribante A, Klersy C, Auricchio F. Evaluation of friction of conventional and metal-insert ceramic brackets in various bracket-archwire combinations. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2003 ; 124 (4) : 403–9.

85. Tecco S, Festa F, Caputi S, Traini T, Iorio DD, D’Attilio M. Friction of

Conventional and Self-Ligating Brackets Using a 10 Bracket Model. *Angle Orthod.* 2005 ; 75 (6) : 1041-1045.

86. Buzzoni R, Elias CN, Fernandes DJ, Miguel JAM. Assessment of surface friction of self-ligating brackets under conditions of angulated traction. *Dent Press J Orthod.* 2012 ; 17 (4) : 51–6.

87. 85. Gómez SL, Montoya Y, Garcia NL, Virgen AL, Botero JE. Comparison of frictional resistance among conventional, active and passive self-ligating brackets with different combinations of arch wires: a finite elements study *Acta odontol. latinoam.* 2016 ; vol.29 (2) : 130-6.

88. Thomas S, Sherriff M, Birnie D. 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) : 589–96.

89. Reznikov N, Har-Zion G, Barkana I, Abed Y, Redlich M. Measurement of friction forces between stainless steel wires and “reduced-friction” self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2010 ; 138 (3) : 330–8.

90. Kahlon S, Rinchuse D, Robison J, Close JM. Invitro evaluation of frictional resistance with 5 ligation methods and Gianellytype working wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010 ; 13 : 867-71.

91. Huang Y, Keilig L, Rahimi A, Reimann S, Eliades T, Jäger A, et al. Numeric modeling of torque capabilities of self-ligating and conventional brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2009 ; 136 (5) : 638–43.

92. Oliver CL. Archwire depth is a significant parameter in the frictional resistance of active and interactive, but not passive, self-ligating brackets. *Angle Orthodontist.* 2011. Vol 81 (6) : 1036-1044.

93. Szczupakowski A, Reimann S, Dirk C, Keilig L, Weber A, Jäger A, et al. Friction behavior of self-ligating and conventional brackets with different ligature systems. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopadie OrganOfficial J Dtsch Ges Kieferorthopadie.* 2016 ; 77 (4) : 287–95.

94. Yeh C-L, Kusnoto B, Viana G, Evans CA, Drummond JL. In-vitro evaluation of frictional resistance between brackets with passive-ligation designs. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2007 ; 131 (6) : 704.e11-22.

95. Jakob SR, Matheus D, Jimenez-Pellegrin MC, Turssi CP, Amaral FLB. Comparative study of friction between metallic and conventional interactive self-ligating

- brackets in different alignment conditions. *Dent Press J Orthod*. 2014 ; 19 (3) : 82–9.
96. Crincoli V, Perillo L, Di Bisceglie MB, Balsamo A, Serpico V, Chiatante F, Pappalettere C and Boccaccio A. Friction Forces during Sliding of Various Brackets for Malaligned Teeth: An In Vitro Study. *The Scientific World Journal*. 2013 ; 1-11
97. Holtmann S, Konermann A, Keilig L, Reimann S, Jäger A, Montasser M, et al. Different bracket–archwire combinations for simulated correction of two-dimensional tooth malalignment: Leveling outcomes and initial force systems. *J Orofac Orthop*. 2014 ; 75 (6) : 459–70.
98. Thorstenson GA, Kusy RP. Comparison of resistance to sliding between different self-ligating brackets with second-order angulation in the dry and saliva states. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2002 ; 121 (5) : 472–82.
99. Bednar JR, Gruendeman GW, Sandrik JL. A comparative study of frictional forces between orthodontic brackets and arch wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1991 ; 100 (6) : 513–22.
100. Souk Min Lee; Chung-Ju Hwang. A comparative study of frictional force in self-ligating brackets according to the bracket-archwire angulation, bracket material, and wire type. *Korean J Orthod*. 2015 ; 45 (1) : 13-19.
101. Reicheneder CA, Gedrange T, Berrisch S, Proff P, Baumert U, Faltermeier A, et al. Conventionally ligated versus self-ligating metal brackets—a comparative study. *Eur J Orthod*. 2008 ; 30 (6) : 654–60.
102. Henao SP, Kusy RP. Evaluation of the Frictional Resistance of Conventional and Self-ligating Bracket Designs Using Standardized Archwires and Dental Typodonts. *Angle Orthod*. 2004 ; 74 (2) : 202–11.
103. Rossouw E. Quantified simulation of canine retraction: evaluation of frictional resistance. *Seminars in Orthodontics*. 2003 ; 9 (4) : 262-280.
104. Loftus BP, Artun J, Nicholls JI, Alonzo TA, Stoner JA. Evaluation of friction during sliding tooth movement in various bracket-arch wire combinations. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1999 ; 116 (3) : 336–45.
105. Matarese G. Evaluation of frictional forces during dental alignment: An experimental model with 3 nonleveled brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2008 ; 133 (5)
106. Ehsani S, Mandich M-A, El-Bialy TH, Flores-Mir C. Frictional resistance in self-ligating orthodontic brackets and conventionally ligated brackets. A systematic review. *Angle Orthod*. 2009 ; 79 (3) : 592–601.

107. Huang T-H, Luk H-S, Hsu Y-C, Kao C-T. An in vitro comparison of the frictional forces between archwires and self-ligating brackets of passive and active types. *Eur J Orthod.* 2012 ; 34 (5) : 625–32.
108. Budd S, Daskalogiannakis J, Tompson BD. A study of the frictional characteristics of four commercially available self-ligating bracket systems. *Eur J Orthod.* 2008 ; 30 (6) : 645–53.
109. Harradine N. Self-ligating brackets increase treatment efficiency. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2013 ; 143 (1) : 10–8, 11–9.
110. Pandis N, Polychronopoulou A, Eliades T. Self-ligating vs conventional brackets in the treatment of mandibular crowding: a prospective clinical trial of treatment duration and dental effects. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2007 ; 132 (2) : 208–15.
111. Reddy VB, Kumar TA, Prasad M, Nuvvula S, Patil RG, Reddy PK. A comparative in-vivo evaluation of the alignment efficiency of 5 ligation methods: A prospective randomized clinical trial. *Eur J Dent.* 2014 ; 8 (1) : 23–31.
112. Miles PG, Weyant RJ, Rustveld L. A Clinical Trial of Damon 2™ Vs Conventional Twin Brackets during Initial Alignment. *Angle Orthod.* 2006 ; 76 (3) : 480–5.
113. Songra G, Clover M, Atack NE, Ewings P, Sherriff M, Sandy JR, et al. Comparative assessment of alignment efficiency and space closure of active and passive self-ligating vs conventional appliances in adolescents: A single-center randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014 ; 145 (5) : 569–78.
114. Megat Abdul Wahab R, Idris H, Yacob H, Zainal Ariffin SH. Comparison of self- and conventional-ligating brackets in the alignment stage. *Eur J Orthod.* 2012 ; 34 (2) : 176–81.
115. Yang X, He Y, Chen T, Zhao M, Yan Y, Wang H, et al. Differences between active and passive self-ligating brackets for orthodontic treatment : Systematic review and meta-analysis based on randomized clinical trials. *J Orofac Orthop.* 2017 ; 78 (2) : 121–8.
116. Miles P. Self-ligating brackets in orthodontics: do they deliver what they claim? *Aust Dent J.* 2009 ; 54 (1) : 9–11.
117. Fleming PS, Johal A. Self-Ligating Brackets in Orthodontics. *Angle Orthod.* 2010 ; 80 (3) : 575–84.
118. Chen SS-H, Greenlee GM, Kim J-E, Smith CL, Huang GJ. Systematic review of self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010 ; 137 (6) : 726.e1-726.e18.
119. Čelar A, Schedlberger M, Dörfler P, Bertl M. Systematic review on self-ligating vs. conventional brackets: initial pain, number of visits, treatment time. *J Orofac Orthop.* 2013

; 74 (1) : 40–51.

120. Papageorgiou SN, Konstantinidis I, Papadopoulou K, Jäger A, Bourauel C. Clinical effects of pre-adjusted edgewise orthodontic brackets: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod*. 2014 ; 36 (3) : 350–63.
121. Dehbi H, Azaroual MF, Zaoui F, Halimi A, Benyahia H. Therapeutic efficacy of self-ligating brackets: A systematic review. *Int Orthod*. 2017 ; 10 : 1-15.
122. Pandis N, Polychronopoulou A, Eliades T. Active or passive self-ligating brackets? A randomized controlled trial of comparative efficiency in resolving maxillary anterior crowding in adolescents. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2010 ; 137 (1) : 1-13.
123. Jayachandran B, Padmanabhan R, Vijayalakshmi D, and Padmanabhan J. Comparative evaluation of efficacy of self-ligating interactive bracket with conventional preadjusted bracket: A clinical study. *Contemp Clin Dent*. 2016. 7 (2) : 158-162.
124. de Almeida MR, Herrero F, Fattal A, Davoody AR, Nanda R, Uribe F. A comparative anchorage control study between conventional and self-ligating bracket systems using differential moments. *Angle Orthod*. 2013 ; 83 (6) : 937–42.
125. Burrow SJ. Canine retraction rate with self-ligating brackets vs conventional edgewise brackets. *Angle Orthod*. 2010 ; 80 (4) : 626–33.
126. Oz AA, Arici N, Arici S. The clinical and laboratory effects of bracket type during canine distalization with sliding mechanics. *Angle Orthod*. 2012 ; 82 (2) : 326–32.
127. DiBiase AT, Nasr IH, Scott P, Cobourne MT. Duration of treatment and occlusal outcome using Damon3 self-ligated and conventional orthodontic bracket systems in extraction patients: A prospective randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011 ; 139 (2) : e111–6.
128. Johansson K, Lundström F. Orthodontic treatment efficiency with self-ligating and conventional edgewise twin brackets. *Angle Orthod*. 2012 ; 82 (5) : 929–34.
129. Little RM. The Irregularity Index: A quantitative score of mandibular anterior alignment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1975 ; 68 (5) : 554–63.
130. Scott P, DiBiase AT, Sherriff M, Cobourne MT. Alignment efficiency of Damon3 self-ligating and conventional orthodontic bracket systems: A randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008 ; 134 (4) : 470.e1-470.e8.
131. Ong E, McCallum H, Griffin MP, Ho C. Efficiency of self-ligating vs conventionally ligated brackets during initial alignment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010 ; 138 (2) : 138.e1-138.e7.
132. Burke SP, Silveira AM, Goldsmith LJ, Yancey JM, Van Stewart A, Scarfe WC.

A meta-analysis of mandibular intercanine width in treatment and postretention. *Angle Orthod.* 1998 ; 68 (1) : 53–60.

133. Shapiro PA. Mandibular dental arch form and dimension: treatment and postretention changes. *Am J Orthod.* 1974 ; 66 (1) : 58-70.

134. Kraus CD, Campbell PM, Spears R, Taylor RW, Buschang PH. Bony adaptation after expansion with light-to-moderate continuous forces. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2014 ; 145 (5) : 655–66.

135. Vajaria R, BeGole E, Kusnoto B, Galang MT, Obrez A. Evaluation of incisor position and dental transverse dimensional changes using the Damon system. *Angle Orthod.* 2011 ; 81 (4) : 647–52.

136. Lineberger MB, Franchi L, Cevidanes LHS, Ghislanzoni H, T L, McNamara JA. Three-dimensional digital cast analysis of the effects produced by a passive self-ligating system. *Eur J Orthod.* 2016 ; 38 (6) : 609–14.

137. Maltagliati LA, Myiahira YI, Fattori L, Filho LC, Cardoso M. Transversal changes in dental arches from non-extraction treatment with self ligating brackets. *Dent Press J Orthod.* 2013 ; 18 (3) : 39-45.

138. Shook C, Kim S (Michelle), Burnheimer J. Maxillary arch width and buccal corridor changes with Damon and conventional brackets: *A retrospective analysis.* *Angle Orthod.* 2016 ; 86 (4) : 655–60.

139. Atik E, Akarsu-Guven B, Kocadereli I, Ciger S. Evaluation of maxillary arch dimensional and inclination changes with self-ligating and conventional brackets using broad archwires. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2016 ; 149 (6) : 830–7.

140. Atik E, Akarsu-Guven B, Kocadereli I. Mandibular Dental Arch Changes with Active Self-ligating Brackets Combined with Different Archwires. *Niger J Clin Pract.* 2018 ; 21 (5) : 566–72.

141. Almeida MR de, Futagami C, Conti AC de CF, Oltramari-Navarro PVP, Navarro R de L. Dentoalveolar mandibular changes with self-ligating versus conventional bracket systems: A CBCT and dental cast study. *Dent Press J Orthod.* 2015 ; 20 (3) : 50–7.

142. Ibiapina DJ, Oltramari-Navarro PV, Navarro RL, Almeida MR, Mendonça DL, Conti AC. Assessment of Dental Arch Changes and Buccal Bone Thickness in Patients treated with Self-ligating Brackets. Patil S, editor. *J Contemp Dent Pract.* 2016 ; 17 : 434–9.

143. Mateu ME, Benítez-Rogé S, Iglesias M, Calabrese D, Lumi M, Solla M, et al. Increased interpremolar development with self-ligating orthodontics. A prospective

randomized clinical trial. *Acta Odontol Latinoam*. 2018 ; 31 (2) : 104–9.

144. Pandis N, Polychronopoulou A, Katsaros C, Eliades T. Comparative assessment of conventional and self-ligating appliances on the effect of mandibular intermolar distance in adolescent nonextraction patients: A single-center randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011 ; 140 (3) : e99–105.

145. Fleming PS, DiBiase AT, Sarri G, Lee RT. Comparison of mandibular arch changes during alignment and leveling with 2 preadjusted edgewise appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2009 ; 136 (3) : 340–7.

146. Fleming PS, Lee RT, Marinho V, Johal A. Comparison of maxillary arch dimensional changes with passive and active self-ligation and conventional brackets in the permanent dentition: A multicenter, randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2013 ; 144 (2) : 185–93.

147. Atik E, Ciğer S. An assessment of conventional and self-ligating brackets in Class I maxillary constriction patients. *Angle Orthod*. 2014 ; 84 (4) : 615–22.

148. Basciftci FA, Akin M, Ileri Z, Bayram S. Long-term stability of dentoalveolar, skeletal, and soft tissue changes after non-extraction treatment with a self-ligating system. *Korean J Orthod*. 2014 ; 44 (3) : 119–27.

149. Archambault A, Lacoursiere R, Badawi H, Major PW, Carey J, Flores-Mir C. Torque expression in stainless steel orthodontic brackets. A systematic review. *Angle Orthod*. 2010 ; 80 (1) : 201–10.

150. Badawi HM, Toogood RW, Carey JPR, Heo G, Major PW. Torque expression of self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. 2008 ; 133 (5) : 721–8.

151. Al-Thomali Y, Mohamed R-N, Basha S. Torque expression in self-ligating orthodontic brackets and conventionally ligated brackets: A systematic review. *J Clin Exp Dent*. 2017 ; 9 (1) : e123–8.

152. Morina E, Eliades T, Pandis N, Jäger A, Bourauel C. Torque expression of self-ligating brackets compared with conventional metallic, ceramic, and plastic brackets. *Eur J Orthod*. 2008 ; 30 (3) : 233–8.

153. Sifakakis I, Pandis N, Makou M, Eliades T, Katsaros C, Bourauel C. A comparative assessment of torque generated by lingual and conventional brackets. *Eur J Orthod* 2013 ; 32 : 159-164.

154. Katsikogianni EN, Reimann S, Weber A, Karp J, Bourauel C. A comparative experimental investigation of torque capabilities induced by conventional and active, passive

self-ligating brackets. *Eur J Orthod.* 2015 ; 37 (4) : 440–6.

155. Franco ÉMF, Valarelli FP, Fernandes JB, Cançado RH, de Freitas KMS. Comparative study of torque expression among active and passive self-ligating and conventional brackets. *Dent Press J Orthod.* 2015 ; 20 (6) : 68–74.

156. Dalstra M, Eriksen H, Bergamini C, Melsen B. Actual versus theoretical torsional play in conventional and self-ligating bracket systems. *J Orthod.* 2015 ; 42 (2) : 103–13.

157. Brauchli LM, Senn C, Wichelhaus A. Active and passive self-ligation-a myth? *Angle Orthod.* 2011 ; 81 (2) : 312–8.

158. Major TW, Carey JP, Nobes DS, Heo G, Major PW. Mechanical effects of third-order movement in self-ligated brackets by the measurement of torque expression. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2011 ; 139 (1) : e31-44.

159. Nogueira. Comparison of Changes in Incisors Position in Cases Treated with Damon Self-Ligating and Conventional Fixed Appliances. 2018.

160. Pandis N, Polychronopoulou A, Eliades T. Failure rate of self-ligating and edgewise brackets bonded with conventional acid etching and a self-etching primer: a prospective in vivo study. *Angle Orthod.* 2006 ; 76 (1) : 119–22.

161. Cattaneo PM, Salih RA, Melsen B. Labio-lingual root control of lower anterior teeth and canines obtained by active and passive self-ligating brackets. *Angle Orthod.* 2012 ; 83 (4) : 691–7.

162. Celikoglu M, Bayram M, Nur M, Kilkis D. Mandibular changes during initial alignment with SmartClip self-ligating and conventional brackets: A single-center prospective randomized controlled clinical trial. *Korean J Orthod.* 2015 ; 45 (2) : 89–94.

163. Jiang RP, Fu M. Non-extraction treatment with self-ligating and conventional brackets. *J Stomatol.* 2008 ; 43 (8) : 459–63.

164. Pandis N, Polychronopoulou A, Makou M, Eliades T. Mandibular dental arch changes associated with treatment of crowding using self-ligating and conventional brackets. *Eur J Orthod.* 2010 ; 32 (3) : 248–53.

165. Blake M, Woodside DG, Pharoah MJ. A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with the edgewise and Speed appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1995 ; 108 (1) : 76–84.

166. Jacobs C, Gebhardt PF, Jacobs V, Hechtner M, Meila D, Wehrbein H. Root resorption, treatment time and extraction rate during orthodontic treatment with self-ligating

- and conventional brackets. *Head Face Med.* 2014 ; 10 (1) : 2.
167. Pandis. External apical root resorption in patients treated with conventional and self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008 ; 134 : 646–51.
168. Handem RH. External root resorption with the selfligating Damon system—a retrospective study. *Extern Root Resorption Selfligating Damon Syst Retrosop Study.*
169. Yi J, Li M, Li Y, Li X, Zhao Z. Root resorption during orthodontic treatment with self-ligating or conventional brackets: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health.* 2016 ; 16 : 1-8.
170. Chen W, Haq AAA, Zhou Y. Root resorption of self-ligating and conventional preadjusted brackets in severe anterior crowding Class I patients: a longitudinal retrospective study. *BMC Oral Health.* 2015 ; 15 : 115.
171. Liu Y, Guo H. Comparison of root resorption between self-ligating and conventional brackets using cone-beam CT. *J Stomatol.* 2016 ; 25 (2) : 238–41.
172. Leite VV, Lopes MB, Gonini Júnior A, de Almeida MR, Moura SK, de Almeida RR. Comparison of frictional resistance between self-ligating and conventional brackets tied with elastomeric and metal ligature in orthodontic archwires. *Dent Press J Orthod.* 2014 ; 19 (3) : 114–9.
173. Weltman B, Vig KWL, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2010 ; 137 (4) : 462–76.
174. Walker S. Root resorption during orthodontic treatment. *Evid Based Dent.* 2010 ; 11 (3) : 88.
175. Leite V, Conti AC, Navarro R, Almeida M, Oltramari-Navarro P, Almeida R. Comparison of root resorption between self-ligating and conventional preadjusted brackets using cone beam computed tomography. *Angle Orthod.* 2012 ; 82 (6) : 1078–82.
176. Aras I, Unal I, Huniler G, Aras A. Root resorption due to orthodontic treatment using self-ligating and conventional brackets : A cone-beam computed tomography study. *J Orofac Orthop.* 2018 ; 79 (3) : 181–90.
177. Stasinopoulos D, Papageorgiou SN, Kirsch F, Daratsianos N, Jäger A, Bourauel C. Failure patterns of different bracket systems and their influence on treatment duration: A retrospective cohort study. *Angle Orthod.* 2018 ; 88 (3) : 338–47.
178. O'Dwyer L, Littlewood SJ, Rahman S, Spencer RJ, Barber SK, Russell JS. A multi-center randomized controlled trial to compare a self-ligating bracket with a conventional bracket in a UK population: Part 1: Treatment efficiency. *Angle Orthod.* 2015 ; 86 (1) : 142–8.

179. Akin M, Tezcan M, Ileri Z, Ayhan F. Incidence of white spot lesions among patients treated with self- and conventional ligation systems. *Clin Oral Investig*. 2015 ; 19 (6) : 1501–6.
180. Rosenbloom RG, Tinanoff N. Salivary *Streptococcus mutans* levels in patients before, during, and after orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1991 ; 100 (1) : 35–7.
181. Forsberg CM, Brattström V, Malmberg E, Nord CE. Ligature wires and elastomeric rings: two methods of ligation, and their association with microbial colonization of *Streptococcus mutans* and lactobacilli. *Eur J Orthod*. 1991 ; 13 (5) : 416–20.
182. Garcez AS, Suzuki SS, Ribeiro MS, Mada EY, Freitas AZ, Suzuki H. Biofilm retention by 3 methods of ligation on orthodontic brackets: a microbiologic and optical coherence tomography analysis. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2011 ; 140 (4) : e193-198.
183. Sunil PC, Michael T, Raju AS, Paul RK, Mamatha J, Ebin TM. Evaluation of Micro-organism in Ligated Metal and Self-ligating Brackets using Scanning Electron Microscopy: An In Vivo Study. *J Int Oral Health*. 2015 ; 7 (7) : 58–62.
184. Bergamo AZN, Nelson-Filho P, Andrucioli MCD, do Nascimento C, Pedrazzi V, Matsumoto MAN. Microbial complexes levels in conventional and self-ligating brackets. *Clin Oral Investig*. 2017 ; 21 (4) : 1037–46.
185. Buck T, Pellegrini P, Sauerwein R, Leo MC, Covell DA, Maier T, et al. Elastomeric-ligated vs self-ligating appliances: a pilot study examining microbial colonization and white spot lesion formation after 1 year of orthodontic treatment. *Orthod Art Pract Dentofac Enhanc*. 2011 ; 12 (2) : 108–21.
186. Baka ZM, Basciftci FA, Arslan U. Effects of 2 bracket and ligation types on plaque retention: A quantitative microbiologic analysis with real-time polymerase chain reaction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2013 ; 144 (2) : 260–7.
187. do Nascimento LEAG, de Souza MMG, Azevedo ARP, Maia LC. Are self-ligating brackets related to less formation of *Streptococcus mutans* colonies? A systematic review. *Dent Press J Orthod*. 2014 ; 19 (1) : 60–8.
188. Pellegrini P, Sauerwein R, Finlayson T, McLeod J, Covell DA, Maier T, 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) : 426.e1-426.e9.
189. van Gastel J, Quirynen M, Teughels W, Coucke W, Carels C. Influence of bracket design on microbial and periodontal parameters in vivo. *Angle Orthod*. 2009 ; 79 (5) :

915–921.

190. Pithon MM, Santos RL, Nascimento LE, Ayres AO, Alviano D, Bolognese AM. Do self-ligating brackets favor greater bacterial aggregation? *Braz J Oral Sci.* 2011 ; 10: 208–212.

191. Pejda S, Varga ML, Milosevic SA, Mestrovic S, Slaj M, Repic D, et al. Clinical and microbiological parameters in patients with self-ligating and conventional brackets during early phase of orthodontic treatment. *Angle Orthod.* 2012 ; 83 (1) : 133–9.

192. Pandis N, Papaioannou W, Kontou E, Nakou M, Makou M, Eliades T. Salivary *Streptococcus mutans* levels in patients with conventional and self-ligating brackets. *Eur J Orthod.* 2010 ; 32 (1) : 94–9.

193. Pandis N, Vlachopoulos K, Polychronopoulou A, Madianos P, Eliades T. Periodontal condition of the mandibular anterior dentition in patients with conventional and self-ligating brackets. *Orthod Craniofac Res.* 2008 ; 11 (4) : 211–5.

194. Uzuner FD, Kaygisiz E, Cankaya ZT. Effect of the bracket types on microbial colonization and periodontal status. *Angle Orthod.* 2014 ; 84 (6) : 1062–7.

195. Cardoso M de A, Saraiva PP, Maltagliati LÁ, Rhoden FK, Costa CCA, Normando D, et al. Alterations in plaque accumulation and gingival inflammation promoted by treatment with self-ligating and conventional orthodontic brackets. *Dent Press J Orthod.* 2015 ; 20 (2) : 35–41.

196. Folco AA, Benítez-Rogé SC, Iglesias M, Calabrese D, Pelizardi C, Rosa A, et al. Gingival response in orthodontic patients: Comparative study between self-ligating and conventional brackets. *Acta Odontol Latinoam AOL.* 2014 ; 27 (3) : 120–4.

197. Kaygisiz E, Uzuner FD, Yuksel S, Taner L, Çulhaoğlu R, Sezgin Y, et al. Effects of self-ligating and conventional brackets on halitosis and periodontal conditions. *Angle Orthod.* 2015 ; 85 (3) : 468–73.

198. Nalçacı R, Özat Y, Çokakoğlu S, Türkkahraman H, Önal S, Kaya S. Effect of bracket type on halitosis, periodontal status, and microbial colonization. *Angle Orthod.* 2014 ; 84 (3) : 479–85.

199. Arnold S, Koletsi D, Patcas R, Eliades T. The effect of bracket ligation on the periodontal status of adolescents undergoing orthodontic treatment. A systematic review and meta-analysis. *J Dent.* 2016 ; 54 : 13–24.

200. Huang J, >Li C-Y, Jiang J-H. Effects of fixed orthodontic brackets on oral malodor: A systematic review and meta-analysis according to the preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses guidelines. *Medicine (Baltimore).* 2018 ; 97 (14) : e0233.

201. Lew KK. Attitudes and perceptions of adults towards orthodontic treatment in an Asian community. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1993 ; 21 (1) : 31–5.
202. Meeran NA. Self-ligating brackets: an update. *J Clin Orthod JCO.* 2012 ; 46 (4) : 235–41.
203. Tecco S, D’Attilio M, Tete S, Festa F. Prevalence and type of pain during conventional and self-ligating orthodontic treatment. *Eur J Orthod.* 2009 ; 31 (4) : 380–4.
204. Rahman S, Spencer RJ, Littlewood SJ, O’Dwyer L, Barber SK, Russell JS. A multicenter randomized controlled trial to compare a self-ligating bracket with a conventional bracket in a UK population: Part 2: Pain perception. *Angle Orthod.* 2015 ; 86 (1) : 149–56.
205. Fleming PS, DiBiase AT, Sarri G, Lee RT. Pain Experience during Initial Alignment with a Self-Ligating and a Conventional Fixed Orthodontic Appliance System. *Angle Orthod.* 2009 ; 79 (1) : 46–50.
206. Scott P, Sherriff M, DiBiase AT, Cobourne MT. Perception of discomfort during initial orthodontic tooth alignment using a self-ligating or conventional bracket system: a randomized clinical trial. *Eur J Orthod.* 2008 ; 30 (3) : 227–32.
207. Bertl MH, Onodera K, Čelar AG. A prospective randomized split-mouth study on pain experience during chairside archwire manipulation in self-ligating and conventional brackets. *Angle Orthod.* 2012 ; 83 (2) : 292–7.
208. Cunningham SJ, O’Brien C. Quality of Life and Orthodontics. *Semin Orthod.* 2007 ; 13 (2) : 96–103.
209. Othman SA, Mansor N, Saub R. Randomized controlled clinical trial of oral health-related quality of life in patients wearing conventional and self-ligating brackets. *Korean J Orthod.* 2014 ; 44 (4) : 168–76.
210. Lai T-T, Chiou J-Y, Lai T-C, Chen T, Chen M-H. Oral health-related quality of life in orthodontic patients during initial therapy with conventional brackets or self-ligating brackets. *J Dent Sci.* 2017 ; 12 (2) : 161–72.
211. Zhou Y, Zheng M, Lin J, Wang Y, Ni ZY. Self-ligating brackets and their impact on oral health-related quality of life in Chinese adolescence patients: a longitudinal prospective study. *The Scientific World Journal.* 2014 ; 1-7.
212. Morais JF, Melsen B. Evaluation of maxillary buccal alveolar bone before and after orthodontic alignment without extractions: A cone beam computed tomographic study. *Angle Orthod.* 2018 ; 88 : 748-756.
213. Anand M, Turpin DL, Jumani KS, Spiekerman CF, Huang GJ. Retrospective investigation of the effects and efficiency of self-ligating and conventional brackets. *Am J*

Orthod Dentofacial Orthop. 2015 ; 148 (1) : 67–75.

214. Yu Z, Jiaqiang L, Weiting C, Wang Y, Zhen M, Ni Z. Stability of treatment with self-ligating brackets and conventional brackets in adolescents: a long-term follow-up retrospective study. *Head Face Med.* 2014 ; 10:41.

215. Prettyman. Self-ligating vs conventional brackets as perceived by orthodontists. *Angle Orthod.* 2012. Vol 00 : 0000.

216. Turpin DL. In-vivo studies offer best measures of self-ligation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 ; 136 : 141-142

217. Burstone, Choy. *The Biomechanical Foundation of Clinical Orthodontics.* 2015 ; 580p.

218. Stefanos S, Secchi AG, Coby G, Tanna N, Mante FK. Friction between various self-ligating brackets and archwire couples during sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010 ; 138 (4) : 463–7.

219. Sebanc J, Brantley WA, Pincsak JJ, Conover JP. Variability of effective root torque as a function of edge bevel on orthodontic arch wires. *Am J Orthod.* 1984 ; 86 (1) : 43–51.

220. McKnight MM, Jones SP, Davies EH. A study to compare the effects of simulated torquing forces on pre-adjusted orthodontic brackets. *Br J Orthod* 1994 ; 21 : 359–365.

221. Archambault A, Major TW, Carey JP, Heo G, Badawi H, Major PW. A comparison of torque expression between stainless steel, titanium molybdenum alloy, and copper nickel titanium wires in metallic self-ligating brackets. *Angle Orthod.* 2010 ; 80 (5) : 884–9.

222. Pandis N, Vlachopoulos K, Polychronopoulou A, Madianos P, Eliades T. Periodontal condition of the mandibular anterior dentition in patients with conventional and self-ligating brackets. *Orthod Craniofac Res.* 2008 ; 11 (4) : 211–5.

223. Who pays the piper? An influx of Key Opinion Leaders [En ligne]. <https://kevinobrienorthoblog.com/pays-piper>. Consulté le 8 décembre 2018.

224. THE HOT SEAT - JCO Online - Journal of Clinical Orthodontics [En ligne]. <https://www.jco-online.com/archive/2018/08/408-the-hot-seat-self-ligating-brackets/>. Consulté le 24 janvier 2019.

225. THE EDITOR’S CORNER - JCO Online - Journal of Clinical Orthodontics [En ligne]. <https://www.jco-online.com/archive/2018/08/385-the-editors-corner-the-pros-and-cons-of-self-ligation/>. Consulté le 8 décembre 2018.

