



HAL
open science

Les attaches auto-ligaturantes vestibulaires : avantages et inconvénients en orthodontie

Matthieu Hutin

► **To cite this version:**

Matthieu Hutin. Les attaches auto-ligaturantes vestibulaires : avantages et inconvénients en orthodontie. Sciences du Vivant [q-bio]. 2016. hal-01931950

HAL Id: hal-01931950

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01931950v1>

Submitted on 23 Nov 2018

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

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



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

ACADEMIE DE NANCY-METZ
UNIVERSITÉ DE LORRAINE
FACULTÉ D'ODONTOLOGIE

Année 2016

N°9097

THESE

Pour le

DIPLOME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Par

Matthieu HUTIN

Né le 13 avril 1989 à Lille

**LES ATTACHES AUTO-LIGATURANTES VESTIBULAIRES : AVANTAGES ET
INCONVÉNIENTS EN ORTHODONTIE**

Présentée et soutenue publiquement le 9 juin 2016

Examineurs de la thèse :

<u>Pr. FILLEUL M.P.</u>	Professeur des universités	Président
<u>Dr EGLOFF B.</u>	Maître de conférences	Directeur
<u>Dr CLEMENT C.</u>	Maître de conférences	Juge
<u>Pr RAPIN C.</u>	Professeur des universités	Juge

*Par délibération en date du 11 décembre 1972, la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté
que les opinions émises dans les dissertations
qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et
qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.*

Président : Professeur Pierre MUTZENHARDT

Doyan : Professeur Jean-Marc MARTRETTE

Vice-Doyens : Pr Pascal AMBROSINI — Dr Céline CLEMENT

Membres Honoraires : Dr L. BABEL – Pr. S. DURIVAUX – Pr A. FONTAINE – Pr G. JACQUART – Pr D. ROZENQWEIG – Pr M. VIVIER – Pr ARTIS -

Doyen Honoraire : Pr J. VADOT, Pr J.P. LOUIS

Professeur Emérite : Pr J.P. LOUIS

Maître de conférences CUM MERITO : Dr C. ARCHIEN

Sous-section 56-01 Odontologie pédiatrique	Mme Mme M. Mlle Mlle M.	<u>DROZ Dominique (Desprez)</u> JAGER Stéphanie PREVOST Jacques HERNANDEZ Magali LAUVRAY Alice MERCIER Thomas	Maître de Conférences * Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistante * Assistante Assistant *
Sous-section 56-02 Orthopédie Dento-Faciale	Mme M. Mlle Mlle	<u>FILLEUL Marie Pierryle</u> EGLOFF Benoît BLAISE Claire LACHAUX Marion	Professeur des Universités * Maître de Conférences * Assistante Assistante
Sous-section 56-03 Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie légale	Mme M. Mme	<u>CLEMENT Céline</u> CAMELOT Frédéric LACZNY Emily	Maître de Conférences * Assistant * Assistante
Sous-section 57-01 Parodontologie	M. Mme M. M. Mlle Mlle	<u>AMBROSINI Pascal</u> BISSON Catherine JOSEPH David PENAUD Jacques BÔLONI Eszter PAOLI Nathalie	Professeur des Universités * Maître de Conférences * Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistante Assistante *
Sous-section 57-02 Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique Anesthésiologie et Réanimation	Mme M. Mlle M. Mlle M.	<u>GUILLET-THIBAUT Julie</u> BRAVETTI Pierre PHULPIN Bérengère DELAITRE Bruno KICHENBRAND Charène MASCHINO François	Maître de Conférences * Maître de Conférences Maître de Conférences * Assistant Assistant Assistante * Assistant
Sous-section 57-03 Sciences Biologiques (Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie)	M. M.	<u>YASUKAWA Kazutoyo</u> MARTRETTE Jean-Marc	Maître de Conférences * Professeur des Universités *
Sous-section 58-01 Odontologie Conservatrice, Endodontie	M. M. M. M. M. Mlle M.	<u>MORTIER Eric</u> AMORY Christophe BALHAZARD Rémy ENGELS-DEUTSCH Marc BON Gautier MUNARO Perrine VINCENT Marin	Maître de Conférences * Maître de Conférences Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistant Assistante Assistant *
Sous-section 58-02 Prothèses (Prothèse conjointe, Prothèse adjointe partielle, Prothèse complète, Prothèse maxillo-faciale)	M. M. Mme Mme M. M. M. Mlle	<u>DE MARCH Pascal</u> SCHOUVER Jacques VAILLANT Anne-Sophie CORNE Pascale GILLET Marc HIRTZ Pierre KANNENGIESSER François SIMON Doriane	Maître de Conférences Maître de Conférences Maître de Conférences * Assistante * Assistant Assistant * Assistant Assistante
Sous-section 58-03 Sciences Anatomiques et Physiologiques Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie	Mme Mme M. M.	<u>STRAZIELLE Catherine</u> MOBY Vanessa (Stutzmann) SALOMON Jean-Pierre HARLE Guillaume	Professeur des Universités * Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistant Associé

Souligné : responsable de la sous-section * temps plein

Mis à jour le 01.03.2016

À NOTRE PRESIDENT

Madame le Professeur Marie-Pierryle Filleul

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Sciences Odontologiques

Docteur d'Etat en Odontologie

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Responsable de la Sous-Section : Orthopédie Dento-Faciale

*Nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous accordez en présidant cette
thèse. Nous vous prions de trouver ici le témoignage de notre reconnaissance et de notre
respectueuse estime.*

À NOTRE DIRECTEUR

Monsieur le Docteur Benoît EGLOFF

Docteur en Chirurgie Dentaire

Spécialiste qualifié en orthopédie dento-faciale

Maître de conférence des universités – praticien hospitalier

Sous-section orthopédie dento-faciale

Vous nous avez fait l'honneur d'accepter la direction de cette thèse. Nous vous sommes reconnaissante pour votre disponibilité, votre enthousiasme ainsi que pour votre indéfectible soutien tout au long de ce travail. Nous vous prions de trouver ici le témoignage de nos vifs remerciements et de notre profonde estime.

À NOTRE JUGE

Madame le Docteur Céline CLEMENT

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université de Lorraine

Assesseur en charge de la pédagogie

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Responsable de la Sous-Section : Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé,

Odontologie Légale

Vous nous avez fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail. Nous vous remercions vivement de l'intérêt que vous avez porté à ce travail. Trouvez ici le témoignage de notre sincère gratitude et de notre profond respect.

À NOTRE JUGE

Monsieur le professeur Christophe RAPIN

Maitre ès Sciences

Docteur en Sciences et Génie des Matériaux

Ha ilité diriger des Recherches en Physique

Professeur des universités

Responsable du CES de Technologie des Matériaux employés en art dentaire

Responsable de Licence Matériaux pour la santé

Vous nous avez fait l'honneur de bien vouloir juger ce travail. Nous vous remercions vivement de l'intérêt que vous avez porté à ce travail. Trouvez ici le témoignage de notre sincère gratitude et de notre profond respect.

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Définition	1
1.2	Historique	3
1.3	Objectifs	9
2	Principes	9
2.1	Attaches auto-ligaturantes actives	10
2.1.1	Exemple d'Attaches auto-ligaturantes actives sur le marché en 2015	12
	• In-Ovation R® et In-ovation C® (GAC)	12
	• Speed®	13
	• Bio Quick® (Forestadent)	13
	• EmPower® (American orthodontics)	14
2.2	Attaches auto-ligaturantes passives	16
2.2.1	Exemples d'attaches auto-ligaturantes passives	17
	• Damon® (Ormco)	17
	• Smartclip®	18
3	Comparaison des systèmes auto-ligurants aux systèmes conventionnels	19
3.1	Frottement	19
3.1.1	Principes du frottement	19
	• Principes physiques	19
	• Biomécanique du glissement de la dent sur l'arc	20
	• Le frottement au niveau du système arc-attache	22
	• Le frottement classique (FC)	22
	• « Binding » (Bi) (effet coin)	24
	• « Notching » (No) (entaille)	26
	• synthèse : biomécanique du glissement de la dent sur l'arc et frottement du système arc-attache	27
3.1.2	Comparaison de la résistance au glissement entre les attaches auto-ligaturantes et conventionnelles	28
	• Frottement classique (FC)	28
	• Études montrant une résistance au glissement moindre en faveur des attaches auto-ligaturantes en présence de frottement classique seul.	28
	• Études sur le frottement classique : synthèse	30
	• Situations cliniques dans lesquelles seul le phénomène de frottement classique est présent	31
	• « Binding » et « notching »	34
	• Études in-vitro ne montrant pas de différence significative de résistance au glissement en présence de binding entre attaches auto-ligaturantes et attaches conventionnelles	35
	• Situations cliniques dans lesquelles le phénomène de binding est présent	36
	• Le frottement : synthèse	37
3.2	Efficiency du traitement	38
3.2.1	Engagement total et sécurisant de l'arc	38
	• Engagement sécurisant de l'arc	38
	• Force d'engagement de l'arc	38

• Contrôle du torque	39
• Études in-vitro sur le contrôle du torque	40
• Études in-vivo montrant un meilleur contrôle du torque avec les attaches auto-ligaturantes :	42
• Études ne montrant pas un meilleur contrôle du torque avec les attaches auto-ligaturantes :	42
• Synthèse	43
3.2.2 Durée totale de traitement et nombre de rendez vous	43
• Études montrant une amélioration du temps de traitement et du nombre de rendez avec les attaches auto-ligaturantes.	43
• Études ne montrant pas d'amélioration du temps de traitement et du nombre de rendez vous avec les attaches auto-ligaturantes	44
• Synthèse sur le temps de traitement et le nombre de rendez-vous	44
3.2.3 Alignement initial	44
• Études in-vitro sur l'alignement initial	44
• Études in-vivo sur l'alignement initial	45
• Synthèse sur l'alignement initial	47
3.2.4 Fermeture des espaces	48
• Études sur la fermeture d'espace in-vitro	48
• Synthèse : Fermeture d'espace	50
3.2.5 Distances inter-molaires et inter-canines	50
• Études in-vivo sur la distance inter-canine	50
• Études in-vivo sur la distance inter-molaire	51
• Études montrant une augmentation de la distance inter-molaire plus importante avec les attaches auto-ligaturantes	51
• Études ne montrant pas d'augmentation de la distance inter-molaire plus importante avec les attaches auto-ligaturantes	51
• Synthèse sur les distances inter-molaires et inter-canine	52
3.2.6 Résorption radiculaire	52
3.3 Hygiène	52
3.3.1 Étude montrant une meilleure hygiène avec l'utilisation d'attache auto-ligaturantes	53
3.3.2 Études ne montrant pas une meilleure hygiène avec l'utilisation d'attache auto-ligaturantes	53
3.3.3 Synthèse sur l'hygiène avec l'utilisation d'attache auto-ligaturantes	54
3.4 Confort pour le patient	55
3.4.1 Études montrant un confort amélioré avec l'utilisation d'attaches auto-ligaturantes	55
3.4.2 Études ne montrant pas de douleur réduite avec l'utilisation d'attache auto-ligaturantes	56
3.4.3 Synthèse sur la douleur ressentie avec l'utilisation d'attaches auto-ligaturantes	56
3.5 Temps au fauteuil lors de la pose et dépose des arcs	57
3.5.1 Comparaison avec les ligatures métalliques	57
3.5.2 Comparaison avec les ligatures élastomériques	58
3.5.3 Synthèse : Temps au fauteuil	60
4 Conclusion	61
BIBLIOGRAPHIE	62
LISTE DES FIGURES	73
LISTE DES TABLEAUX	77

1 Introduction

1.1 Définition

L'attache orthodontique ou bracket constitue le dispositif qui fait le lien entre l'arc et la dent, permettant de mobiliser celle-ci.

La position finale recherchée de la dent est contrôlée par les informations contenues dans l'arc (techniques non informées) ou dans l'attache (techniques pré-informées).

Dans les deux cas, l'effet ressort (la force) résulte de la déformation de l'arc nécessaire pour le rentrer dans la gorge de l'attache. La lecture de cette information dépend aussi du remplissage de la gorge par l'arc, l'information ne peut être lue en totalité par le couple « arc-attache » que s'ils sont de même dimension. L'utilisation d'arcs sous-dimensionnés induit un jeu entre l'arc et la gorge de l'attache d'où résulte une perte des informations.(Boileau 2011)

Comme les attaches conventionnelles utilisées en thérapeutique fixe, l'attache auto-ligaturante est composée d'un support : la base et d'un corps comportant une gorge et des ailes, ailerons ou ailettes et éventuellement un crochet pour le placement d'élastique intermaxillaire.

La différence entre les attaches conventionnelles et auto-ligaturantes réside dans la manière dont l'arc est maintenu dans la gorge : dans les systèmes conventionnels, il faut mettre en place une ligature métallique ou élastomérique, alors qu'avec les systèmes auto-ligaturants, l'attache elle-même contient un mécanisme de verrouillage (Figure 1).



Figure 1 : attache auto-ligaturante

Comme toutes attaches orthodontiques, l'attache auto-ligaturante a une seule fonction : elle constitue la jonction entre l'élément générateur de force (l'arc) et la dent.

L'utilisation de ces attaches a donné lieu à un certain nombre de philosophies de traitement, qui sont censées offrir des avantages significatifs par rapport aux attaches conventionnelles.

Les avantages prétendus des attaches auto-ligaturantes seraient :

- Une facilité d'utilisation, moins d'assistance et un gain de temps au fauteuil. (Damon 1998a; Harradine 2003; Fleming et al. 2008; Miles 2009; Boileau 2011; Graber et al. 2011; Wright et al. 2011)
- Un temps de traitement plus court et un nombre de rendez-vous réduit. (Damon 1998a; Miles 2009; Sameshima 2009)
- Un alignement initial plus rapide. (Fleming et al. 2008; Wright et al. 2011)
- Un meilleur engagement de l'arc dans l'attache ainsi qu'une fermeture sécurisée. (Harradine 2003; Fleming et al. 2008; Boileau 2011; Graber et al. 2011)
- Un frottement réduit entre l'arc et l'attache. (Damon 1998a; Harradine 2003; Fleming et al. 2008; Boileau 2011; Graber et al. 2011)
- Un certain confort pour le patient. (Harradine 2003; Boileau 2011; Graber et al. 2011; Wright et al. 2011)
- Un meilleur contrôle du torque et donc une vestibulo-version incisive réduite. (Fleming et al. 2008; NOURRY 2008; Graber et al. 2011)
- Moins d'extraction grâce à une augmentation de la distance inter-molaire. (Fleming et al. 2008; Miles 2009; Sameshima 2009; Graber et al. 2011)
- Une hygiène plus facile. (Boileau 2011; Harradine 2013b)
- Moins de résorption radiculaire. (Sameshima 2009)

Les propriétés qui feraient d'une attache auto-ligaturante l'attache idéale seraient :

- Réduction de la friction entre l'arc et l'attache. (Harradine 2003; Opin 2009)
- Facile à ouvrir et à fermer avec des forces faibles lors de la mise en place de n'importe quel arc. (Harradine 2003; Opin 2009; Graber et al. 2011)
- Ne jamais s'ouvrir par inadvertance, ce qui entraînerait une perte de contrôle de la dent. (Harradine 2003; Graber et al. 2011)
- Mécanisme de fermeture qui ne se casse et ne se déforme pas afin que ses performances ne varient pas durant le traitement orthodontique. (Harradine 2003; Graber et al. 2011; Ludwig and Bister 2011)
- Facile à positionner lors du collage. (présence d'un marquage clair etc.) (Ludwig and Bister 2011)
- Tolérer un léger excès de composite de collage sans bloquer le système de fermeture. (Graber et al. 2011)
- Avoir des ailettes permettant l'utilisation d'auxiliaires comme des chaînettes élastomériques, des co-ligatures métalliques, des ligatures individuelles conventionnelles etc. sans interférence avec le mécanisme de fermeture. (Harradine 2003; Graber et al. 2011; Ludwig and Bister 2011)
- Posséder une ou plusieurs gorges auxiliaires. (Ludwig and Bister 2011)
- Posséder un crochet.

- Une largeur suffisamment étroite pour avoir une distance inter-attache suffisamment grande. (Graber et al. 2011)
- Performances recherchées pour toutes attaches orthodontiques conventionnelles : base permettant une force de collage suffisante, contour lisse, précision de fabrication... (Graber et al. 2011; Ludwig and Bister 2011)
- Facile à nettoyer pour limiter l'accumulation de plaque. (Harradine 2003; Opin 2009)
- Confortable pour le patient. (Harradine 2003; Opin 2009)
- Exister dans une version esthétique qui reste stable dans le temps.

1.2 Historique

L'apparition de l'attache vestibulaire Edgewise la plus largement répandue aujourd'hui fut créée en 1928 par E. Angle, la technique utilise d'abord des ligatures métalliques puis élastomériques. La mise en place de ces ligatures étant longue, les premières attaches auto-ligaturantes apparaissent en 1935 pour réduire le temps au fauteuil.

La première attache auto-ligaturante commercialisée fut créée par Stolzenberg, « l'attachement Russel » est donc l'une des pionnières de l'attache auto-ligaturante avec son système de vis plate sur la face vestibulaire de l'attache. (Figure 2)



Figure 2: attache de Russel, source : (BERGER 2000)

Avant lui, en 1933 Boyd puis Ford avaient déjà pensé à des attaches auto-ligaturantes, mais celles-ci n'avaient pas été commercialisées. (Figure 3)



Figure 3: (A) Attache de Ford, (B) Attache de Boyd, source : (Ludwig and Bister 2011)

Puis, en 1972, Wildman introduit l'attache Edgelok® qui possède un support arrondi avec un clapet de verrouillage vestibulaire, ce fut la première attache auto-ligaturante largement disponible dans le commerce. (Figure 4)

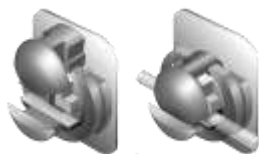


Figure 4: attache Edgelock®, source : (BERGER 2000)

À peu près au même moment, en 1973, Sander introduit l'attache Mobil-Lock® qui fut la première attache auto-ligaturante avec une gorge variable : en raison du mouvement excentré du système de verrouillage, le fil peut être verrouillé solidement dans le support ou, avec un réglage adapté, constituer une ligature partielle avec la possibilité pour le fil de glisser librement dans la gorge. (Figure 5)



Figure 5: attache MobilLock®, source : (BERGER 2000)

Tous ces premiers systèmes étaient passifs et aucun d'entre eux n'est encore en usage aujourd'hui.

Durant les années 1980, Hanson développe une approche nouvelle de l'auto-ligaturant : L'attache Speed®, c'est la première attache auto-ligaturante active, qui est toujours en usage en 2015, le dispositif de verrouillage est constitué par un clip flexible, l'attache a subi de nombreuses modifications depuis sa première apparition, en particulier, la composante souple formant une paroi extérieure élastique qui retient l'arc dans la gorge qui était au départ en acier inoxydable, puis remplacée par du Nickel-titane. Ces attaches ont été les premières auto-ligaturantes à bénéficier d'un accueil favorable et se généraliser. (figure 6)



Figure 6: Attache Speed®, source : (BERGER 2000)

En 1986, l'attache Activa® fait son apparition, ce système passif est composé d'un mécanisme rotatif autour du corps de l'attache constituant une sorte de « porte » tournante. C'est la première attache auto-ligaturante passive. (Figure 7)



Figure 7: Attache Activa®, source : (BERGER 2000)

Dans les années 1990, Heise développe l'attache Time® qui est un système actif, un clip flexible s'ouvre en direction gingivale. Cette attache est encore en service aujourd'hui après de nombreuses améliorations. En 2015, l'attache commercialisée est la Time3®. (Figure 8)



Figure 8: Attache Time®, source : (<http://www.novadent.at/>)

En 1997, Voudouris développe le brevet de l'attache In-Ovation® de la société GAC. Il s'agit d'une attache active dont une conception améliorée est disponible depuis 2002, lancée sur le marché sous le nom d'In-ovation R® et In-Ovation C® (céramique), ce même brevet est utilisé pour la création plus tard de l'attache Em-power® de la société American Orthodontics. (Figure 9)



Figure 9: Attache In-ovation®, source : (Ludwig and Bister 2011)

En 1998, Wildman introduit l'attache passive Twinlock® avec une porte plate rectangulaire qui coulisse verticalement entre les deux ailettes de l'attache. (Figure 10)



Figure 10: Attache TwinLock®, source (BERGER 2000)

Une autre attache avec un mécanisme semblable fait son apparition en 1999, développée par D. Damon. L'attache Damon® est une attache passive, elle est lancée sur le marché avec beaucoup de succès en raison de sa philosophie de traitement non extractionniste. (Figure 11) Encore largement commercialisée en 2015, l'attache a bénéficié de nombreuses améliorations. Avec notamment, en 2009 l'attache Damon Q® et en 2010 l'attache Damon Clear.

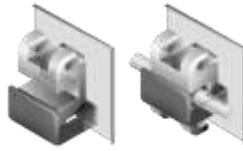


Figure 11: Attache Damon SL®, source : (BERGER 2000)

En 2004, l'attache Opal® est lancée sur le marché, présentée comme « l'attache la plus confortable au monde » grâce à ces bords arrondis, d'abord uniquement en acrylique translucide puis en métal à partir de 2007. (Figure 12)



Figure 12: Attache Opal®, source: (<http://www.archwired.com/>)

En 2004, l'attache auto-ligaturante passive Smartclip® (Figure 13) est développée, son système de fixation de l'arc est basé sur une approche totalement différente, il ne possède aucun clip ou serrure, l'arc est maintenu en place avec deux agrafes en nickel titane qui sont fixées à l'extérieur des ailettes, la ligature et le retrait des arcs sont réalisés par la déformation élastique des agrafes, ce qui fait de l'attache Smartclip® une attache auto-ligaturante originale. Une version esthétique est également commercialisée à partir de 2007 sous le nom de Clarity SL®.



Figure 13: Attache Smartclip®, source : (Ludwig and Bister 2011)

En 2005, l'attache Quick® (Figure 14) est introduite, il s'agit d'un système actif, qui existe en version esthétique depuis 2008 (QuickClear®).



Figure 14: source Quick®

En 2005, l'attache Carriere® fait son apparition, il s'agit d'une attache passive avec un système de fermeture par porte coulissante rigide. (Figure 15)



Figure 15: Attache Carriere®, source : (<http://carrieresystem.com/>)

En 2008, un nouveau mécanisme de verrouillage est introduit avec l'attache Discovery SL®, il s'agit d'une attache métallique auto-ligaturante passive, le clapet s'ouvre par un mouvement de rotation vers la gencive, cette attache est la plus petite et la moins en relief sur le marché. (Figure 16)



Figure 16: Attache Discovery SL®, source: (<http://www.dentaurum.de/>)

C'est en 2008 également que l'attache Lotus®, attache passive fait son apparition. (Figure 17)



Figure 17: Attache Lotus®, source : (<http://www.orthotechnology.com/>)

En 2009, le laboratoire American orthodontics® introduit une nouvelle attache auto-ligaturante : l'Empower qui est disponible en version active (interactive) ou passive. La version esthétique de l'attache Empower Clear sera lancée en 2012 (figure 18)



Figure 18: attache Em-power®, source : (<http://www.americanortho.com/fr/>)

On peut remarquer en particulier un fort développement des attaches auto-ligaturantes à partir des années 2000, avec 23 nouvelles attaches uniquement entre 2000 et 2009. (Tableau 1)

(Huang, Richmond, and Vig 2011; NOURRY 2008; Graber, Jr, and Vig 2011; Fleming, DiBiase, and Lee 2008; N. W. Harradine 2001; Ludwig and Bister 2011; Meeran 2012; N. W. T. Harradine 2003; Eliades and Pandis 2009; BERGER, n.d.)



































Système (Laboratoire)	Année	type	
Edgewise (Angle)	1930	Conventionnel	
Boyd et Ford	1933	Passif, métal	
Russel Lock® (Stolzenberg)	1935	Passif, métal	
Edgelok®(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	Actif, 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® (Ortho	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® (Ortho technology)	2008	Passif, métal	
Discovery SL® (dentaurum)	2008	passif, métal	
Quicklear® (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® (AO)	2014	Actif ou passif, métal ou esthétique	

Tableau 1 : historique des attaches auto-ligaturantes

1.3 Objectifs

L'objectif de ce travail est de réaliser une revue de littérature sur l'utilisation des attaches auto-ligaturantes en orthodontie, de définir les principes des attaches actives et passives et de comparer les forces de frottements, l'efficacité du traitement, le temps gagné au fauteuil et le confort d'utilisation entre les systèmes auto-ligaturants et les systèmes conventionnels.

2 Principes

Il existe un grand nombre d'attaches auto-ligaturantes sur le marché actuellement, les propriétés de l'attache dépendent des matériaux utilisés pour la fabrication du bracket et du mécanisme de ligature. Classiquement, les attaches auto-ligaturantes sont divisées en deux grandes catégories : les actives et les passives.

Théoriquement, dans les systèmes dits passifs, aucune force n'est exercée par le système de verrouillage lui-même lorsque l'arc est ligaturé, alors que dans les systèmes actifs, le système de verrouillage est conçu pour bloquer activement le fil dans la gorge de l'attache.

Certains fabricants distinguent des systèmes de verrouillages semi-actifs ou interactifs, dans ces derniers, tant que le fil n'a pas atteint une certaine dimension, il n'est pas activement bloqué dans la gorge de l'attache et se comporte alors comme un système passif. (Ludwig and Bister 2011)

Globalement on distingue 3 types de mécanismes de fermeture :

- Les mécanismes de glissière à direction verticale dont le dispositif de verrouillage peut être rigide et donc passif (Damon®, Carrière®, Lotus®) (Figure 19 A) ou flexible et donc actif (In-ovation®, Time®, Speed®, Empoter®, Quick®) (Figure 20 B) (Ludwig and Bister 2011)

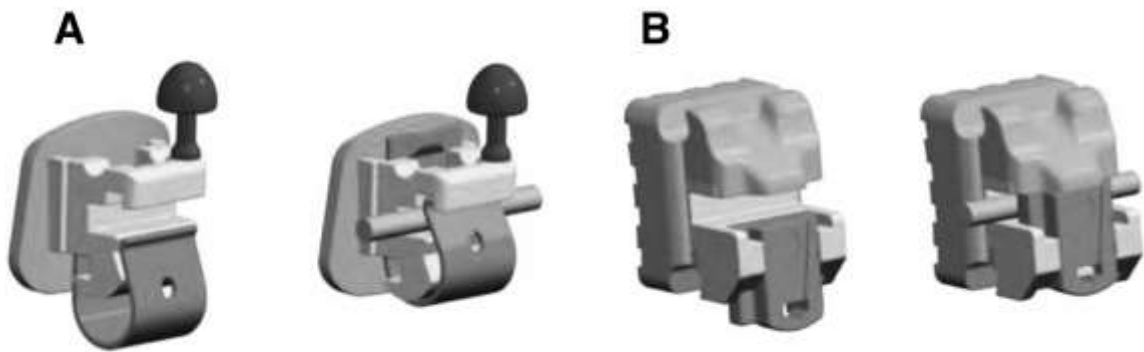


Figure 19 : (A) Mécanisme de glissière à direction verticale Flexible de l'attache Speed® et (B) mécanisme de glissière verticale rigide de l'attache Damon 3®, isource (BERGER 2000)

- Le mécanisme par clip ou agrafe de chaque côté de l'attache (Smartclip®) (Figure 20) (Ludwig and Bister 2011)



Figure 20 : Mécanisme par clips ou agrafes de l'attache Smartclip®, source (Ludwig and Bister 2011)

- Le mécanisme moins répandu de couvercle (Opal®, Discovery SL®) (Figure 21)



Figure 21: Mécanisme de couvercle de l'attacher Discovery SL®, source : (<http://www.dentaurum.de/>)

2.1 Attaches auto-ligaturantes actives

Le clip des systèmes actifs est fabriqué à partir soit de Chrome cobalt (In-ovation®, Empoter®, Time®, Quick®, Nexus®) soit de Nickel-titane (Speed®). Il peut plaquer l'arc dans la gorge de l'attache d'une manière sem la le un ressort, ce qui se produit déj

avec des clips pleinement actifs et l'utilisation de fils de petit diamètre. Certains fabricants commercialisent leurs clips comme semi-actifs ou interactifs (EmPower®, In-ovation®) (Figure 22), Dans ces cas, le clip devient actif seulement à partir d'une certaine section d'arc, avant cela, le système se comporte comme un système passif. (Ludwig and Bister 2011)



Figure 22: système interactif: pour une section en dessous de .017x.025 inch, puis pour une section supérieure, elle devient active l'attache est passive, source : (<https://www.dentsply.com>)

Les avantages attendus des systèmes actifs seraient(Opin 2009) :

- Meilleur contrôle du torque et des rotations
- Plus de facilité pour les finitions

Les inconvénients présumés des systèmes actifs seraient(Opin 2009) :

- Plus de friction entre l'attache et l'arc
- Mécaniques de glissements moins efficaces

2.1.1 Exemple d'Attaches auto-ligaturantes actives sur le marché en 2015

• ***In-Ovation R® et In-ovation C® (GAC)***

L'attache In-ovation® est une attache auto-ligaturante active qui est vendue par le laboratoire GAC comme attache interactive avec un mécanisme de fermeture à glissière verticale flexible en Chrome-molybdène.

Sous sa forme céramique (In-ovation C®) le clip est traité afin d'avoir un aspect mat. Le corps de l'attache ressem le une attache conventionnelle avec 4 ailettes. Cette attache existe également sous une forme plus petite : l'attache In-Ovation Mini®.

Associée à la technique TGO (technique de glissement optimisée), l'attache existe en deux versions : gorge .022x.028 inch pour les secteurs latéraux, ce qui facilite le glissement, et gorge .020x.025 inch pour les dents antérieures, ce qui permet un meilleur contrôle du torque.

L'ouverture du clip se fait du collet vers la face occlusale et nécessite un outil spécifique qui peut être remplacé par une sonde. (figures 23, 24, et 25)

Avantages :

- Facile à positionner
- Facile à ouvrir et fermer
- Des chaînettes élastomériques peuvent être placées sur ou sous l'arc
- Existe en gorge .022x28 inch ou .020x.025 inch
- Bon contrôle des rotations grâce à la largeur du clip équivalente à la largeur de l'attache

Inconvénients :

- Il peut être difficile d'ouvrir le système lors de l'utilisation d'arc de section importante .(Ludwig and Bister 2011)
- Pas de slot auxiliaire



Figure 23: Attache In-ovation R®, images : (<https://www.dentsply.com>), source : (Ludwig and Bister 2011)



Figure 24: (A,B) Attache In-ovation C® (C) Après 6 mois d'utilisation : le revêtement mat à presque totalement disparu, images : : (<https://www.dentsply.com>), source : (Ludwig and Bister 2011)



Figure 25: système interactif: pour une section en dessous de .017x.025 inch, l'attache est passive, source : <https://www.dentsply.com>

- **Speed®**

L'attache Speed® fait partie de la première génération des auto-ligaturantes actives, le mécanisme d'ouverture s'ouvre en direction occlusale au maxillaire et la mandibulaire, un instrument spécifique est recommandé, cet instrument pouvant être remplacé par une sonde. C'est la seule attache active avec un clip de fermeture en nickel titane. (Ludwig and Bister 2011) (Figure 26)

Avantages :

- De taille réduite, il reste facile à positionner
- Slot auxiliaire .016x016 inch
- Seul système actif avec un clip en nickel titane

Inconvénients :

- Avec sa taille réduite, l'attache serait moins efficace pour la correction des rotations
- Les chaînettes élastomériques ne peuvent se placer qu'en dessous de l'arc



Figure 26 : attache Speed®. source : (Ludwig and Bister 2011), <http://www.speedsystem.com>

- **BioQuick® (Forestadent)**

L'attache BioQuick® est une auto-ligaturante active avec un mécanisme de glissière verticale flexible en chrome molybdène, le mécanisme de fermeture s'ouvre en direction occlusale et se ferme avec un outil spécifique pouvant être remplacé par une sonde. De plus, cette attache possède un slot auxiliaire en position horizontale et occlusale de dimensions .016x.016inch. (Figure 27)

Avantages :

- Facile à positionner, le collage est semblable celui d'une attache conventionnelle
- Facile à ouvrir et fermer
- Le mécanisme de clip peut se remplacer en cas de casse
- Placement de chaînettes au-dessus et en dessous de l'arc possible
- Slot auxiliaire .016x.016inch

(Ludwig and Bister 2011)



Figure 27: (A,B) Attache BioQuick® (C) Outil pour ouverture du système, source (<http://www.forestadent.com/>), (Ludwig and Bister 2011)

- **EmPower® (American orthodontics)**

L'attache EmPower est une attache auto-ligaturante commercialisée par le laboratoire American orthodontics depuis 2009 en version métal et depuis 2012 en version esthétique, l'attache a bénéficié de quelques améliorations depuis sa mise sur le marché (figure 28).

L'attache Empower est une attache polyvalente, en effet elle existe en version active dite « interactive » et en version passive.

- 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 .016x.022 inch pour les gorges .018inch et .017x.025 inch pour les gorges .022 inch
- dans sa version passive l'attache se comporte comme un tube, le fil n'est pas comprimé par le clip. (Figure 29)

Un code couleur identifie chaque attache, avec en plus le numéro de la dent gravé sur la base. Les attaches passives possèdent un code rouge en plus du code couleur classique (figure 30)

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 (figure). Cet outil peut être remplacé par une sonde. La fermeture du clip se fait en poussant avec le doigt en direction gingivale. (figure 31)

Avantages :

- 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

Inconvénient :

- Pas de slot auxiliaire

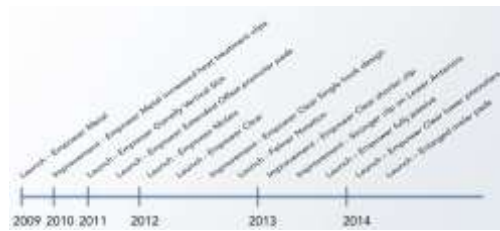


Figure 28: évolution de l'attache Empower, historique fourni par le laboratoire American orthodontics

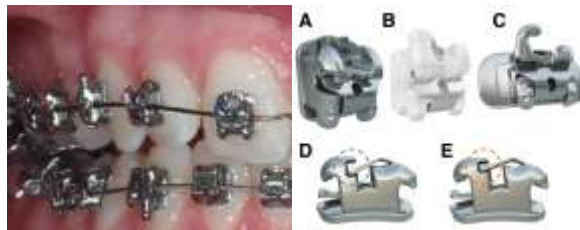


Figure 29: attache Empower® : métal (A), Esthétique (B), molaire (C), interactive (D), passive (E). sources : <http://www.americanortho.com/> , CHU Nancy



Figure 30: code couleur d'identification. source : <http://www.americanortho.com/>



Figure 31: ouverture de l'attache EmPower avec l'outil spécifique et fermeture par pression digitale, source : <http://www.americanortho.com/>

2.2 Attaches auto-ligaturantes passives

Dans un système passif, un mécanisme de verrouillage en forme de couvercle rigide maintient la fermeture de la gorge ou avec deux clips latéraux comme dans l'attache Smartclip®, cela transforme l'attache en véritable. Aucune force active n'est exercée par le mécanisme de verrouillage sur l'arc lui-même. (Ludwig and Bister 2011)

Les avantages attendus des systèmes passifs seraient (Opin 2009; Graber et al. 2011; Meeran 2012) :

- Réduction du frottement de l'arc.
- Mécaniques de glissements facilités.
- Alignement initial plus rapide.

Les inconvénients présumés d'un système passif seraient (Opin 2009; Graber et al. 2011; Meeran 2012) :

- Moins de contrôle du torque et des rotations, en particulier en début de traitement.
- Plus de « jeu dans le système ».
- Plus de difficultés pour les finitions avec l'obligation de passer en grande section pour avoir un contrôle total des informations.

2.2.1 Exemples d'attaches auto-ligaturantes passives

- **Damon® (Ormco)**

L'attache Damon est une attache auto-ligaturante passive. Le dispositif de verrouillage se compose d'une porte coulissante rigide avec des rails de guidage.

L'ouverture de l'attache nécessite un instrument spécifique. (Ludwig and Bister 2011)

Les attaches Damon® sont livrées avec des jauges de positionnement.

En 2015, les versions commercialisées sont :

- Damon Q® : version métallique avec deux slots auxiliaires en .0185x.0185 inch. L'un en position verticale et l'autre en position horizontale occlusale.(figure 32 A)
- Damon 3MX® : version métallique de taille plus réduite que le Damon Q®, sans slot auxiliaire. (figure 32 B)
- Damon 3® : version semi esthétique avec une base en polycarbonate et une gorge ainsi qu'un système de fermeture métallique (figure 32 C)
- Damon Clear® : version esthétique avec à la fois la base et le système de fermeture en céramique. (figure 32D, E)

Avantages :

- Les versions esthétiques sont stables dans le temps.
- Système d'ouverture et de fermeture simple d'utilisation.
- Les chaînettes peuvent être disposées au-dessus et en dessous de l'attache.(Ludwig and Bister 2011)
- présence de deux slots auxiliaires dans la version Damon Q®

Inconvénients :

- Contrôle des rotations réduit à cause du système de fermeture qui est plus étroit que la gorge de l'attache.

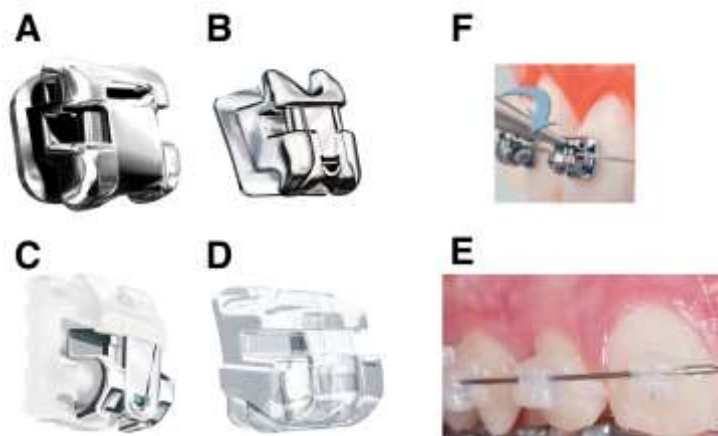


Figure 32: attache Damon Q (A), Damon 3MX (B), Damon 3(C), Damon Clear (D), Damon clear en bouche (E, document CHU Nancy), ouverture du système (F). source: <http://www.ormco.com/>

- **Smartclip®**

L'attache Smartclip® est une attache auto-ligaturante passive dont la base est identique à une attache classique bi-plots. L'attache dispose de deux clips soudés au laser en situation mésiale et distale des ailettes. Le mécanisme se compose de ces deux clips de nickel-titane qui s'ouvrent automatiquement lorsque le fil est délogé en direction vestibulaire. (Ludwig and Bister 2011)

Des instruments spécifiques sont disponibles pour faciliter la mise en place et la dépose des arcs (figure 33).

Cette attache existe en version métallique : Smartclip® et en version semi-esthétique : Clarity SL®. L'attache a bénéficié de quelques améliorations, depuis 2010, l'attache smartclip® de troisième génération dispose d'un clip plus flexi le qui permettrait de réduire les douleurs lors de la mise en place et de la dépose des arcs. (figure 34)

Avantages (Ludwig and Bister 2011) :

- Facile à positionner sur la dent, ses principales caractéristiques sont très proches d'une attache bi-plot classique.
- Bon contrôle du torque et des rotations.
- L'hygiène est facilitée puisque le système de fermeture n'utilise pas de mécanisme mobile.
- Le support peut facilement être transformé en système actif grâce à l'utilisation de ligatures traditionnelles.
- L'attache est livrée Préencollée, et chaque attache est conditionnée individuellement sous emballage.

Inconvénient (Ludwig and Bister 2011) :

- La mise en place et la dépose des arcs peuvent être source d'inconfort pour le patient.

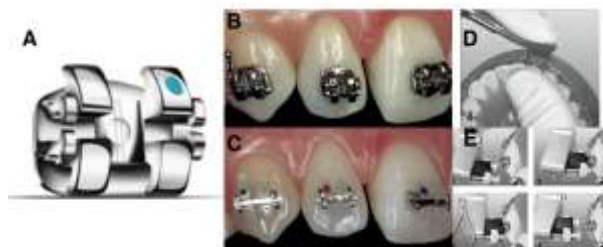


Figure 33 : attache autoligaturante smartclip® (A), smartclip® en bouche (B), claritySL® en bouche (C), mise en place de l'arc avec l'instrument spécifique (D), dépose de l'arc avec l'instrument spécifique (E). sources : (Ludwig and Bister 2011) , http://solutions.3mfrance.fr/wps/portal/3M/fr_FR/unitek



Figure 34: amélioration du clip depuis 2010 avec l'attache smartclip de troisième génération. source : http://solutions.3mfrance.fr/wps/portal/3M/fr_FR/unitek

3 Comparaison des systèmes auto-ligaturants aux systèmes conventionnels

3.1 Frottement

3.1.1 Principes du frottement

- **Principes physiques**

L'intérêt principal des attaches auto-ligaturantes, en particulier les passives, serait une diminution du frottement entre l'arc et l'attache. Cette diminution du frottement aurait des répercussions sur l'efficacité du traitement orthodontique. (Thermac et al. 2008; Boileau 2011; Ben Rejeb Jdir et al. 2015)

On distingue deux types de frottement :

- **Le frottement statique** : force minimale nécessaire pour permettre le déplacement d'un solide partir d'une position de repos
- **Le frottement cinétique ou dynamique** : force qui résiste au déplacement à vitesse constante d'un solide sur un autre

Lorsqu'un solide posé sur une surface plane est soumis une force de déplacement parallèle à cette surface, on distingue 4 forces dans ce système (Figure 35) :

- T, La force de frottement
- P, le poids dépendant de la masse et de la pesanteur
- N, la réaction du support
- F, la force qui déplace le solide

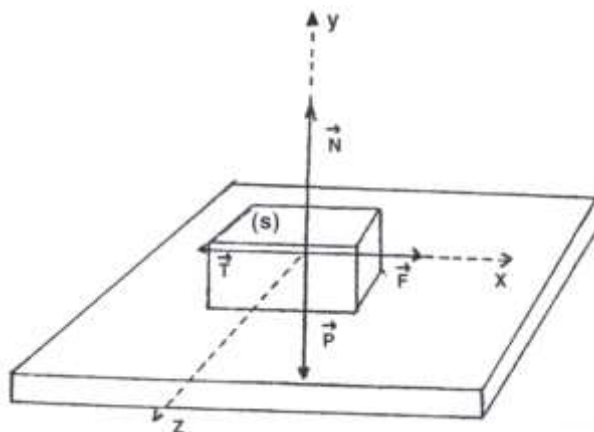


Figure 35 : solide soumis à une force F glissant sur une surface plane d'après Bruhat , source : (Cuinet et al. 2001))

A l'équilibre, c'est à dire sans mouvement, F et T sont de valeurs identiques et de sens opposés, ainsi que N et P.

Lorsqu'une force F supérieure à la force du frottement T est appliquée sur le solide, celui-ci va se déplacer.

La force de frottement se calcule selon la loi d'Amontou de 1699 par la formule :

$$T = \mu \cdot N.$$

T et N sont en Newton et μ est le coefficient de frottement.

Cette formule se décompose en un coefficient de frottement statique μ_s et un coefficient de frottement cinétique μ_c selon le stade de déplacement considéré :

$$T_s = \mu_s \cdot N \quad T_c = \mu_c \cdot N \quad \text{et} \quad \mu_s > \mu_c \quad (\mu_s \approx 2 \mu_c) \quad (\text{Bourauel 2009})$$

La représentation graphique (figure 36) de l'évolution de la force de frottement en fonction de la force de traction permet d'observer :

- Un pic de frottement maximal correspondant à la force du frottement statique précédant le début du mouvement.
- Une diminution de la force de frottement au départ du mouvement.
- Une stabilisation de cette force de frottement cinétique. (Cuinet et al. 2001; Thermac et al. 2008)

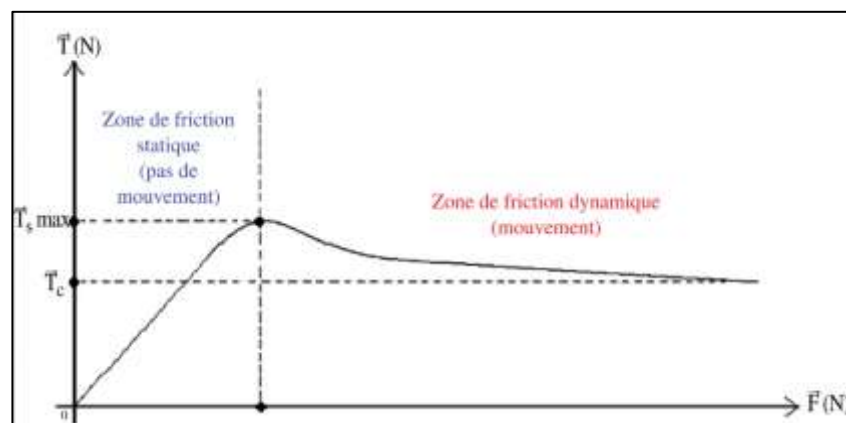


Figure 36: courbe d'évolution du frottement en fonction d'une force F d'après Culand (source : (Thermac et al. 2008))

• **Biomécanique du glissement de la dent sur l'arc**

Lors du déplacement d'une dent avec une mécanique de glissement le long de l'arc, nous n'obtenons pas de translation pure de la dent car la ligne d'action de la force ne passe pas par le centre de résistance de la dent, ce qui engendre un moment responsable d'une version de la dent (figure 37) .

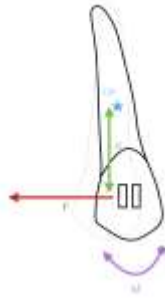


Figure 37: CR : centre de résistance de la dent, F : force appliquée sur la dent, d : distance séparant le point d'application du CR, M : Moment. (illustration personnelle)

Le guidage de cette dent le long de l'arc va alors se diviser en 4 étapes successives (figure 38 et 39)(Burstone and Choy 2015)

- Phase 1 : il existe un jeu entre la gorge de l'attache et l'arc, avec l'application d'une force de rétraction, la dent subit une version incontrôlée jusqu' ce que l'attache entre en contact avec l'arc.
- Phase 2 : un moment est créé par le contact entre l'attache et l'arc qui se déforme, un mouvement de version contrôlé se produit sur la dent.
- Phase 3 : lorsque la dent subit une version plus importante, un moment important est produit par la déformation de l'arc et un moment de translation se produit alors sur la dent.
- Phase 4 : la force est réduite, il n'y a plus de mouvement de glissement sur l'arc et l'axe de la dent est corrigé. Lors de cette phase, les forces de frottements importantes sont acceptables car le glissement de la dent sur l'arc n'est plus recherché.

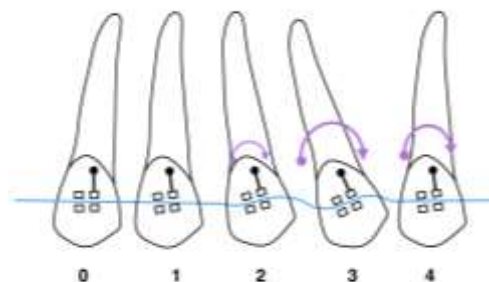


Figure 38 : 4 phases durant la rétraction d'une dent par technique de glissement : phase 0 : initiale, phase 1 : jeux entre l'arc et l'attache donc absence de moment, mouvement de type version incontrôlée, phase 2 : le moment créé par le contact entre l'arc produit un mouvement de type version contrôlée, phase 3 : le contact augmenté entre l'arc et l'attache augmente le moment ce qui produit un mouvement de type translation sur la dent, phase 4 : il n'y a plus de mouvement de glissement de la dent sur l'arc, seul le moment persiste, celui-ci va redresser la dent. (illustration personnelle)

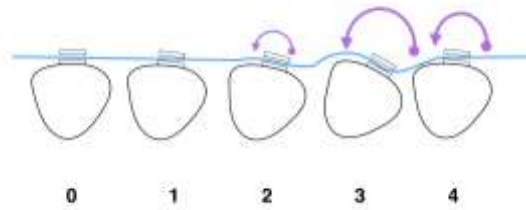


Figure 39 : en vue occlusale, les mêmes 4 phases peuvent être considérées lors de la rétraction d'une dent par technique de glissement. (illustration personnelle)

Ainsi, le déplacement dentaire le long d'un arc avec une mécanique de glissement consiste en une succession d'inclinaisons puis de redressements. (Drescher et al. 1989; Cuiet et al. 2001)

- **Le frottement au niveau du système arc-attache**

De manière synthétique, on peut donc différencier la résistance au glissement en orthodontie en trois composantes :

- Le frottement classique (FC)
- Le *binding* (Bi) (effet coin)
- Le *notching* (No) (entaille)

- **Le frottement classique (FC)**

Il a lieu quelle que soit la situation. Il correspond à la résistance au mouvement libre de l'arc dans la gorge de l'attache et il est due au contact entre l'arc, l'attache et la ligature.

Celle-ci dépend de la combinaison spécifique attache – arc – ligature, et dépend

- **De la force de ligature FL qui pousse l'arc dans l'attache en direction linguale**, (figure 40) Théoriquement :
 - Cette force est la plus importante avec les ligatures élastomériques.
 - Elle dépend de la quantité de serrage avec les ligatures métalliques.
 - Elle est plus importante avec les attaches auto-ligaturantes actives que passives.
 - Celle-ci varie en fonction de la taille de l'arc et de la gorge l'attache.

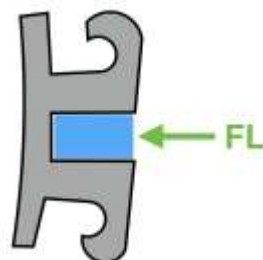


Figure 40 : FL : force de ligature qui pousse l'arc dans l'attache (illustration personnelle)

Ce rôle majeur a été prouvé par Ireland et al qui notent que les niveaux de friction enregistrés in-vitro lors du glissement fil/attache sont plus importants avec ligatures que sans. (Cuinet et al. 2001)

- **du coefficient de frottement μ qui dépend :**

- **Des matériaux constitutifs de l'arc et de son état de surface.** De nombreux essais ont étudié ce paramètre, ce qui permet d'établir un classement des fils en fonction des niveaux de friction croissant qu'ils engendrent :

acier inoxydable > nickel-titane > titane molybdène classique. (Cuinet et al. 2001)

- **Des matériaux constitutifs de l'attache et de son état de surface.** Les plus courantes peuvent être en acier inoxydable, en acier fritté, en céramique, en résine ou en titane.

L'étude de Vaughan et al montre un frottement réduit des attaches en acier fritté par rapport à l'acier conventionnel coulé. Kusy lui observe un coefficient de friction plus élevé pour les attaches en céramique comparées aux attaches en acier. Cette différence s'expliquerait par une rugosité de surface plus importante pour les attaches en céramique et l'acier coulé par rapport à l'acier fritté (Cuinet et al. 2001)

- **De l'environnement : la salive.** Elle a un rôle lubrifiant, néanmoins, il est important de nuancer ces propos pour diverses raisons :
 - « La salive lubrifierait bien certains alliages et fort mal d'autres, en fonction de la nature de l'alliage ».
 - La salive peut disjoindre deux surfaces en leur interposant un film liquidien, ce qui abaisse le frottement (comme pour le titane).
 - Mais elle peut aussi agir en tant qu'adhésif en mettant en jeu des tractions de surface (cas de l'acier inoxydable).
 - De plus, lorsqu'une angulation existe, les contacts entre l'arc et l'attache deviennent punctiformes et la pression sur leur niveau est relativement importante, il est alors probable que la salive soit expulsée de ces surfaces de contact, annulant ainsi tout éventuel réducteur de frottement. (Cuinet et al. 2001),(Ludwig and Bister 2011),(Cacciafesta et al. 2003; Iwasaki et al. 2003; Burrow 2009; Reznikov et al. 2010)

Ainsi, schématiquement, si on applique une force FA sur le fil, la force effective FE sur celui-ci sera :

$$FE = FA - FF$$

avec $FF = FN \times \mu$ (lois d'Amontons-coulomb) (figure 41)

FE : Force effective

FA : Force appliquée force qui pousse l'arc dans l'attache (dépend du type de ligature)

FF : Force de frottement

FN : Force normale

μ : coefficient de frottement qui lui dépend de la taille de l'attache et de l'arc, de l'état de surface de ceux-ci et de la salive. (Burstone and Choy 2015)

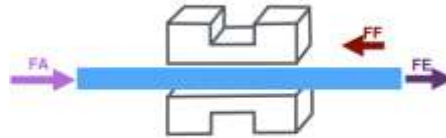


Figure 41 : $FE = FA - FF$ avec $FF = FN \times \mu$ (FE : force effective, FA : force appliquée, FF : force de frottement, FN : Force normale, μ : coefficient de frottement) (illustration personnelle)

Pour le frottement classique : $FN = FL$

Avec:

FL : force de la ligature qui pousse l'arc dans l'attache (figure 42)

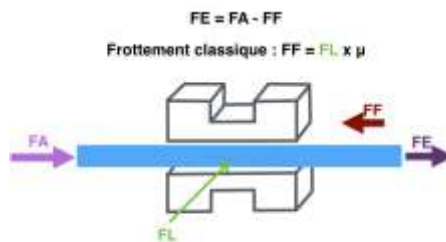


Figure 42: Frottement classique : $FE = FA - FF$ avec $FF = FL \times \mu$ (FE : force effective, FA : force appliquée FF: force de frottement, FL: force de ligature, et μ : coefficient de frottement) (illustration personnelle).

- **« Binding » (Bi) (effet coin)**

Qui arrive quand la dent se verse ou que la dent est en malposition et que l'arc arrive en contact avec les coins de la gorge de l'attache. Cette composante est inévitable lorsqu'une force orthodontique ne passe pas par le centre de résistance de la dent. Elle s'ajoute la force normale FN.

L'arc peut entrer avec toutes les surfaces de la gorge (figure 43) :

- En mésio-distal,
- En bucco-lingual,
- En occluso-gingival.

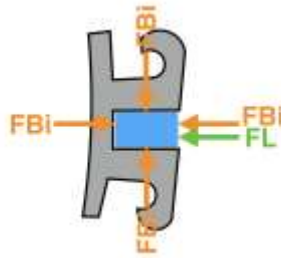


Figure 43: FL force de ligature qui pousse l'arc dans la gorge, Fbi : Force de binding lorsque l'arc entre en contact avec la gorge de l'attache (illustration personnelle).

Plus l'angulation est importante, plus la composante de *binding* augmente, partir d'un certain point, l'arc se déforme créant une situation d'arc outtement.

Le *binding* est une composante qui augmente significativement la résistance au glissement et qui dépend :

- Principalement de l'angle entre le fil et l'attache dans les 3 sens de l'espace.
- Du torque, actif il augmentera le *binding*. (Muguruma et al. 2014)
- De la largeur de l'attache, plus l'attache est large, plus le *binding* est réduit. (Moore and Waters 1993; Burstone 2008; Bourauel 2009; Burstone and Choy 2015)
- Du type d'arc. (Articolo and Kusy 1999; Thorstenson and Kusy 2001; Burstone 2008; Reznikov et al. 2010)

Ainsi, schématiquement , si on applique une force FA sur une dent, la force effective FE sera :

$$FE = FA - FF$$

$$\text{Avec } FF = FN \times \mu$$

$$\text{Et pour le binding : } FN = FL + Fbi \text{ (Figure 44)}$$

FE : Force effective

FF : Force de frottement

FA : Force appliquée qui pousse l'arc dans l'attache (dépend du type de ligature)

FN : Force normale

μ : coefficient de friction qui lui dépend de la taille de l'attache et de l'arc, de l'état de surface de ceux-ci et de la salive. (Burstone and Choy 2015)

FL : Force de la ligature qui pousse l'arc dans l'attache

Fbi : Force de binding

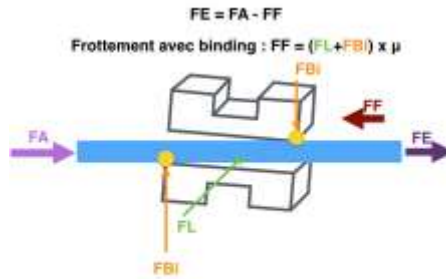


Figure 44: frottement avec binding : $FE = FA - FF$ avec $FF = (FL + FBI) \times \mu$ (FE : force effective, FA : force appliquée FF: force de frottement, FL: force de ligature, FBI : Force de binding et μ : coefficient de frottement) (illustration personnelle)

- « **Notching** » (**No**) (**entaille**)

Qui arrive quand l'attache est très angulée par rapport à l'arc et qu'il y a création d'une entaille dans l'arc (figure 45). Cette composante augmente fortement la résistance au glissement pouvant aller jusqu'à arrêter le mouvement.

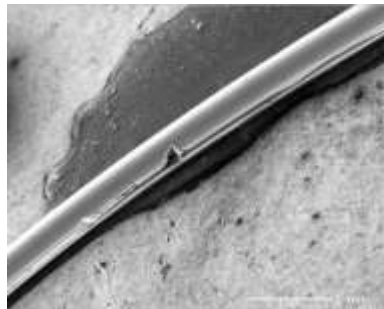


Figure 45 : entaille sur l'arc du au notching. source: (Burrow 2010)

Le *notching* dépend principalement des matériaux constitutifs de l'attache et de l'arc et de la qualité de ceux-ci.

Par exemple, l'adoucissement des extrémités de la gorge de l'attache augmente la quantité de surface entre l'arc et l'attache, réduisant ainsi le risque d'entaille au niveau de l'arc (figure). (Burrow 2009; Ludwig and Bister 2011)

Ainsi, schématiquement , si on applique une force FA sur une dent, la force effective FE sera :

$$FE = FA - FF$$

$$\text{Avec } FF = FN \times \mu$$

$$\text{Et } FN = FL + F_{no} \text{ (Figure 47)}$$

FE : Force effective

FF : Force de frottement

FA : Force appliquée qui pousse l'arc dans l'attache (dépend du type de ligature)

FN : Force normale

μ : Coefficient de friction qui lui dépend de la taille de l'attache et de l'arc, de l'état de surface de ceux-ci et de la salive. (Burstone and Choy 2015)

FL : Force de la ligature qui pousse l'arc dans l'attache

FNo : Force de notching (figure 46)

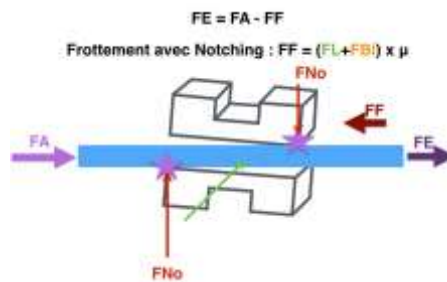


Figure 46 : frottement avec Notching : $FE = FA - FF$ avec $FF = (FL + FNo) \times \mu$ (FE : force effective, FA : force appliquée FF: force de frottement, FL: force de ligature, FNo : force de notching et μ : coefficient de frottement) (illustration personnelle)

- ***synthèse : biomécanique du glissement de la dent sur l'arc et frottement du système arc-attache***

Ainsi, lors d'un déplacement dentaire, la force de frottement dépend (Figure 47) :

- Du frottement classique qui est toujours présent. Celui-ci dépend de la combinaison fil-arc-ligature.
- Du binding qui apparaît partir d'un certain degré d'angulation entre le fil et l'attache. La force de frottement est de plus en plus importante avec le degré d'angulation.
- Du notching qui apparaît partir d'un degré d'angulation important ce qui augmente encore la force de frottement.

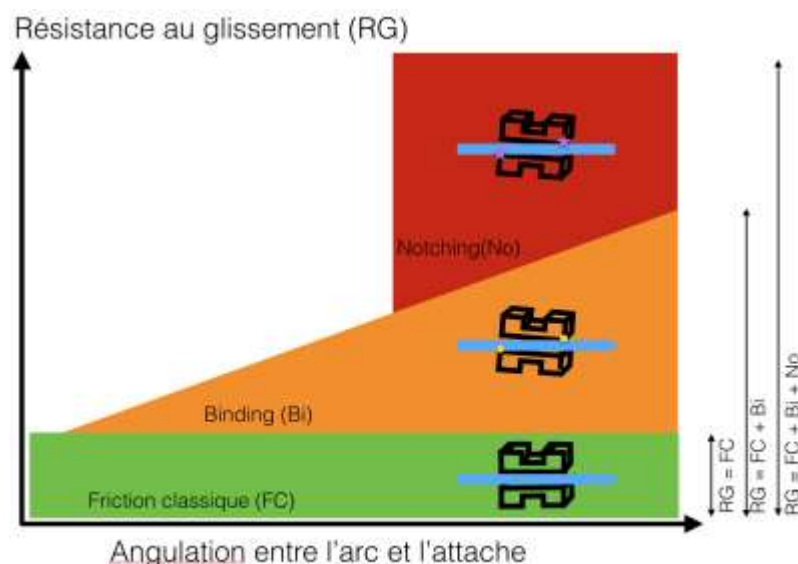


Figure 47: le frottement classique est toujours présent, à partir d'un certain degré d'angulation, le phénomène de binding apparaît ($RG=FC+Bi$), puis si l'angulation augmente encore, le notching apparaît ($RG=FC+Bi+No$). (illustration personnelle)

3.1.2 Comparaison de la résistance au glissement entre les attaches auto-ligaturantes et conventionnelles

- ***Frottement classique (FC)***

Comme vu précédemment, le frottement classique correspond à la résistance au mouvement libre de l'arc dans la gorge du bracket quand l'arc et la gorge sont alignés avec un degré d'angulation de 0% dans les 3 dimensions de l'espace.

Cette composante de frottement classique a théoriquement un effet sur la résistance au glissement, quel que soit le degré d'angulation. Elle s'additionne aux composantes de *binding* et de *notching* lors de glissements avec angulation.

Cette composante dépendra :

- Des matériaux constitutifs et de la taille de l'attache et de l'arc,
- De l'environnement oral,
- Du système de ligature qui applique une force plus ou moins importante sur l'arc pour l'appliquer dans la gorge de l'attache.

Théoriquement cette friction classique devrait donc être réduite avec les attaches auto-ligaturante passives ainsi qu'avec les ligatures métalliques lâches, et être plus importante avec les attaches auto-ligaturantes actives et les ligatures élastomériques.

- ***Études montrant une résistance au glissement moindre en faveur des attaches auto-ligaturantes en présence de frottement classique seul.***

- L'étude de Cacciafesta en 2003 mesure le frottement statique et dynamique sans angulation entre l'attache Damon 2® et deux attaches conventionnelles avec des arcs de sections .016, .017x.025 et .019x.025 inch en acier, TMA et nickel-titanium. Il trouve une réduction significative de la résistance au glissement avec l'attache Damon 2® par rapport aux deux attaches conventionnelles avec ligatures élastomériques (Cacciafesta et al. 2003) (figure 48)

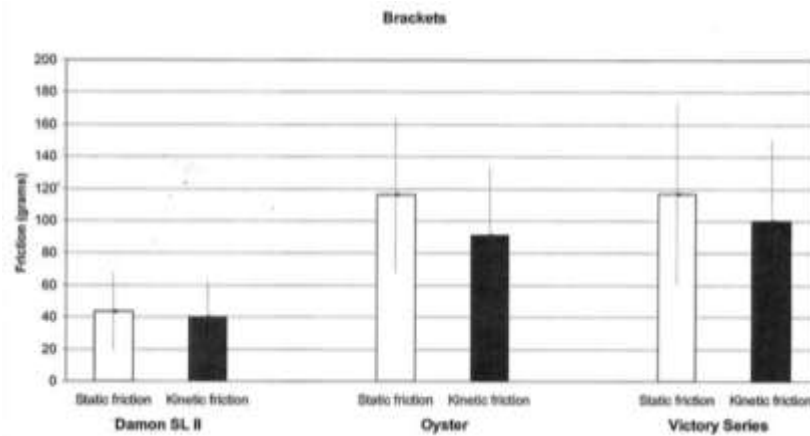


Figure 48: résistance au glissement statique et dynamique dans une situation sans angulation entre l'attache Damon 2® auto-ligaturante passive et deux attaches conventionnelles avec ligatures élastomériques, source : Cacciafesta et al 2003

- L'étude de Shivapuja et Berger en 1994 mesure la résistance au glissement sans angulation statique et dynamique entre l'attache Activa® et Edgelock® auto-ligurantes passives, Speed® auto-ligurante active, et deux attaches conventionnelles avec ligatures métalliques ou élastomériques. Ils trouvent une résistance au glissement plus faible avec les attaches auto-ligurantes comparées aux attaches conventionnelles avec ligatures élastomériques. L'utilisation de ligatures métalliques réduisant également la résistance au glissement par rapport l'utilisation de ligatures élastomériques (Shivapuja and Berger 1994) (figure 49)

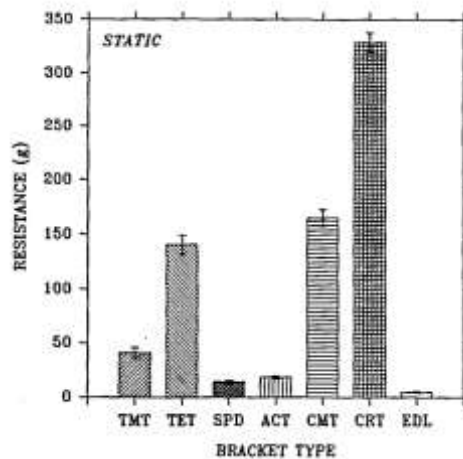


Figure 49: résistance au glissement statique en grammes avec les attaches conventionnelles et ligatures métalliques (TMT), conventionnelles avec ligatures élastomériques (TET), Speed® (SPD), Activa® (ACT), conventionnelles céramiques et ligatures métalliques (CMT), conventionnelles céramiques et ligatures élastomériques (CRT), Edgelok®, source (Shivapuja and Berger 1994)

- L'étude de Franchi et Al en 2008 mesure la résistance au glissement avec 4 attaches consécutives alignées. Ils trouvent une réduction de la résistance au glissement en faveur des attaches auto-ligurantes. (Franchi et al. 2008)

- L'étude de Thorstenson et Kusy, en 2002, mesure dans un 1^{er} temps le frottement sans angulation entre les attaches conventionnelles avec ligatures élastomériques et métalliques, et les auto-ligaturantes passives Smartclip®, Damon2®, et active In-Ovation®, Speed® et time®. On constate un frottement classique plus important pour les attaches conventionnelles avec ligatures élastomériques, équivalent entre attaches auto-ligaturantes actives et conventionnelles avec ligatures métalliques et réduit pour les attaches auto-ligaturantes passives (Thorstenson and Kusy 2002; Burrow 2009) (figure 50)

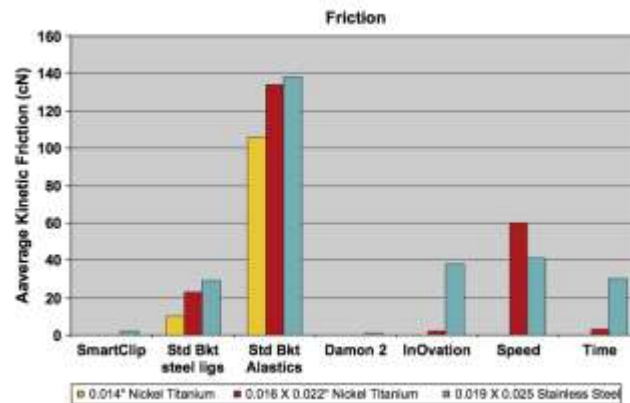


Figure 50: frottement classique sans angulation entre l'attache smartclip®, conventionnelle avec ligature métallique (Std Bkt steel ligs), conventionnelle avec ligature élastomérique (Std Bkt Alastics), damon2®, In-Ovation®, Speed® et Time® de l'étude de thorstenson et Kusy en 2002, source (Burrow 2009)

- **Études sur le frottement classique : synthèse**

Pour le frottement classique, les études in-vitro montrent donc une réduction de la résistance au glissement en faveur des attaches auto-ligaturantes, en particulier passives par rapport aux attaches conventionnelles avec ligatures élastomériques.

Cet avantage semble amoindri par rapport aux ligatures métalliques.

De manière générale, on retrouve une augmentation du frottement avec l'augmentation de la section de l'arc ainsi qu'une augmentation de la friction entre le nickel-titanium et l'acier, puis entre le TMA et le nickel titanium. (Tableau 2)

(Berger 1990; Shivapuja and Berger 1994; Kapur et al. 1998; Pizzoni 1998; Thomas et al. 1998; Articulo and Kusy 1999; Thorstenson and Kusy 2002; Cacciafesta et al. 2003; Hain et al. 2003; Khambay et al. 2004; Griffiths et al. 2005; Henao and Kusy 2005; Tecco et al. 2005; Fleming et al. 2008; Franchi et al. 2008; Reicheneder et al. 2008; Thermac et al. 2008; Stefanos et al. 2010; Brauchli et al. 2011a; Huang et al. 2012; Lee and Hwang 2015)(Ben Rejeb Jdir et al. 2015)

Etude	étches utilisées	friction la plus importante	friction intermédiaire	friction la plus faible
Berger, Jeffrey L. 1990. "The Influence of the SPEED Bracket's Self-Ligating Design on Force Levels in Tooth Movement: A Comparative In Vitro Study." AJODO	conventionnelle métal LE et LM, Speed ALA	Conventionnelle métal LE	Conventionnelle métal LM	Speed ALA
Shrivastava, Prasanna Kumar, and Jeff Berger. 1994. "A Comparative Study of Conventional Ligation and Self-Ligation Bracket Systems." AJODO	conventionnelle Métal LM et LE, conventionnelle céramique LM et LE, Active ALA, Speed ALA, Edgetrack ALP	conventionnelle céramique LE puis conventionnelle céramique LM puis	conventionnelle métal LM puis active ALA, puis Speed ALA	Edgetrack ALP
Thomas, E. M. Sherriff, and D. Birnie. 1999. "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." EJO	conventionnelle métal LE, Ispedge métal LE, time ALA, Damon ALP	conventionnelle métal LE puis TipEdge LE	Time ALA	Damon ALP
Kapur, R., P. K. Sinha, and R. S. Nanda. 1998. "Frictional Resistance of the Damon SL Bracket." JCO	Conventionnelle métal LE, Damon ALP	Conventionnelle métal LE		Damon ALP
Pizzoni, L. 1998. "Frictional Forces Related to Self-Ligating Brackets." EJO	conventionnelle métal LE, Speed ALA, Damon ALP	Conventionnelle métal LE	Speed ALA	Damon ALP
Thorsteinson, Glenn A., and Robert P. Kuey. 2002. "Comparison of Resistance to Sliding between Different Self-Ligating Brackets with Second-Order Angulation in the Dry and Saliva States." AJODO	Conventionnelle métal LM, Damon ALP	Conventionnelle métal LM		Damon ALP
Casaliesta, Vittorio, Maria Francesca Rovedati, Andrea Ricciuti, Andrea Sorbore, Catherine Kieny, and Ferdinando Aiello. 2002. "Evaluation of Friction of Stainless Steel and Ceramic Self-Ligating Brackets in Various Bracket-Archwire Combinations." AJODO	conventionnelle métal LE, conventionnelle céramique LE, Damon ALP	Conventionnelle céramique LE puis conventionnelle métal LE		Damon ALP
Hahn, Max, Ashish Dhotopkar, and Peter Rock. 2003. "The Effect of Ligation Method on Friction in Sliding Mechanics." AJODO	conventionnelle métal LE et LM, speed ALA	conventionnelle métal LE	Speed	Conventionnelle LM
Khambay, Balinder, Dejan Miletić, and Stoban McHugh. 2004. "Evaluation of Methods of Archwire Ligation on Frictional Resistance." EJO	Conventionnelle métal LE et LM, Damon ALP	Conventionnelle métal LE	Conventionnelle métal LM	Damon ALP
Griffiths, Helen Sylvia, Marilyn Sherriff, and Anthony John Ireland. 2005. "Resistance to Sliding with 3 Types of Elastomeric Modules." AJODO	conventionnelle céramique LE, Damon ALP	conventionnelle métal LE		Damon ALP
Tecco, Simona, Felice Festa, Sergio Caputi, Tomina Trani, Donato Di Iorio, and Michele D'Amico. 2005. "Friction of Conventional and Self-Ligating Brackets Using a 10 Bracket Model." AO	conventionnelle métal LE, Time ALA, Damon ALP	Conventionnelle métal LE	Time ALA	Damon ALP
Heras, Sandra P., and Robert P. Kuey. 2005. "Frictional Evaluations of Dental Typodont Models Using Four Self-Ligating Designs and a Conventional Design." AO	Conventionnelle métal LE, Speed ALA, In-ovation ALA, Time ALA, Damon ALP	Conventionnelle métal LE	Time ALA, Speed ALA, In-ovation ALA	Damon ALP
Franchi, Lorenzo, Tiziano Baccetti, Matteo Comparsi, and Enella Barbato. 2008. "Forces Released during Sliding Mechanics with Passive Self-Ligating Brackets or Nonconventional Elastomeric Ligatures." AJODO	Conventionnelle métal LE, conventionnelle métal ligature élastomérique - slide - Opal M ALP, Damon ALP, Smartclip ALP, Damon ALP	Conventionnelle métal LE		Smartclip ALP puis conventionnelle métal LE - slide - puis Opal M ALA, Damon ALP puis Damon ALP
Theriac, Guilhem, Laurent Morgon, and Julien Godéneche. 2008. "Étude Sur Le Frottement: Les Bobines Auto-Ligaturantes." L'Orthodontie Française	Conventionnelle métal LE, In-ovation R ALA, Quick ALA, Smartclip ALP, Damon ALP	Conventionnelle métal LE	In-ovation R ALA puis Quick ALA	Smartclip ALP puis Damon ALP
Reichmeyer, C. A., T. Gedrange, S. Bentsch, P. Pfeil, U. Baumert, A. Füllmeyer, and D. Muesalp. 2008. "Conventionally Ligated versus Self-Ligating Metal Brackets—a Comparative Study." EJO	Conventionnelle métal LE, In-ovation ALA, Time ALA, Speed ALA, Damon ALP		Conventionnelle métal LE, In-ovation ALA, Time ALA, Speed ALA, Damon ALP (dépend du type d'arc utilisé)	
Stefanos, Sennay, Antonino G. Secchi, Guy Coby, Nijal Tamra, and Francis K. Mante. 2015. "Friction between Various Self-Ligating Brackets and Archwire Couples during Sliding Mechanics." AJODO	In-ovation R ALA, In-ovation C ALA, Speed ALA, Smartclip ALP, Synergy R ALP, Damon ALP	Speed ALA	In-ovation R ALA, In-ovation C ALA, Synergy R ALP	Damon ALP
Brauhli, Lorenz M., Christiane Senn, and Andrea Wichelhaus. 2011. "Active and Passive Self-Ligation—A Myth?" AO	Conventionnelle métal LE, In-ovation R ALA, Quick ALA, Speed ALA, Time ALA, myatique neoclip ALA, Damon ALP, Smartclip ALP, Oyster ALP	Conventionnelle LE, Speed ALA	Quick ALA, In-ovation ALA, Time ALA	Damon ALP, Oyster ALP, Smartclip ALP, myatique ALA
Huang, T.-H., H.-S. Luk, Y.-C. Hsu, and C.-T. Kao. 2012. "An In Vitro Comparison of the Frictional Forces between Archwires and Self-Ligating Brackets of Passive and Active Types." EJO	Conventionnelle métal LE, Mini clippy ALA, Asia ALP, Damon ALP, Cariers ALP, Smartclip ALP	Conventionnelle LE, smartclip ALP, Mini clippy ALA		Damon ALP Cariers ALP, Asia ALP
Lee, Seok Bin, and Chung-Ju Hwang. 2015. "A Comparative Study of Frictional Force in Self-Ligating Brackets according to the Bracket-Archwire Angulation, Bracket Material, and Wire Type." Korean Journal of Orthodontics	Conventionnelle métal LE, Quick ALA, Clippy-C ALA, Damon ALP	Conventionnelle métal LE	Quick ALA, Clippy C ALA	Damon ALP
Ben Rejab Jdir, Saloua Ben Rejab Jdir, Samir Tobji, Wiam Turki, Ines Daiter, Nedra Khedher, and Adel Ben Amor. 2015. "Brackets et Frottement En Orthodontie : étude Experimentale." L'Orthodontie Française	Conventionnelle métal LE an 3, LE an 3, LM, quick ALA, smartclip ALP	Conventionnelle LE an 3 puis an 0	Quick ALA, conventionnelle LM	Smartclip ALP

Tableau 2 : différentes études sur le frottement classique, LE : ligature élastomérique, LM : ligature métallique, ALA : auto-ligaturante active, ALP : auto-ligaturante passive

- **Situations cliniques dans lesquelles seul le phénomène de frottement classique est présent**

Cliniquement, le frottement classique est seul responsable de la résistance au glissement (RG) seulement dans certaines situations :

- **Glissement d'une dent sur l'arc quand la force de rétraction passe par le centre de résistance** (ou que la composante des forces permet une translation pur) (figure 51) (Burstone 2008)

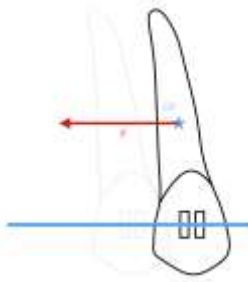


Figure 51: si la force de rétraction passe par le centre de résistance, la seule composante de la résistance au glissement est le frottement classique (illustration personnelle)

- **Glissement de l'arc dans la gorge d'une attache sans angulation, donc après nivellement :**
 - Dans la situation d'un recul en masse, l'arc glisse dans les attaches postérieures avec comme seule composante le frottement classique (figure 52)

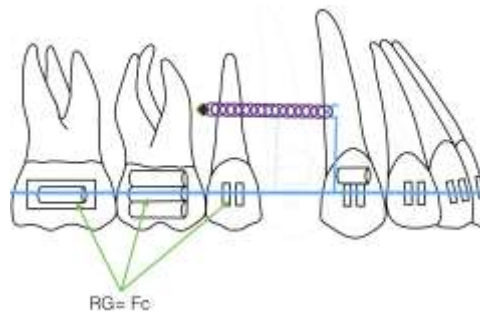


Figure 52 : lors d'une rétraction en masse, et en l'absence d'effet parasite, si les dents postérieures sont bien alignées, leur résistance au glissement ne dépend que du frottement classique (illustration personnelle)

- **Si une dent est mal positionnée et que les autres dents de l'arcade sont bien alignées :**
 - Lorsqu'on place l'arc dans l'attache de cette dent, il y a une longueur d'arc plus importante qui devra être réduite pour placer correctement la dent. Il faut donc que l'arc glisse sur toutes les autres attaches, si ce glissement est impossible ou difficile, il y a création d'effets parasites méso-disto (Koenig and Burstone 1989).
 - Cependant, cette augmentation de résistance au glissement peut être recherchée, dans le cas par exemple d'une dent en forte rotation, qui n'a pas la place pour se mettre sur l'arcade, l'augmentation de la friction va alors créer des effets méso-disto, repoussant les dents voisines et permettant à la dent en rotation de se mettre en place. (figures 53 et 54) (Burstone 2008; Burstone and Choy 2015)

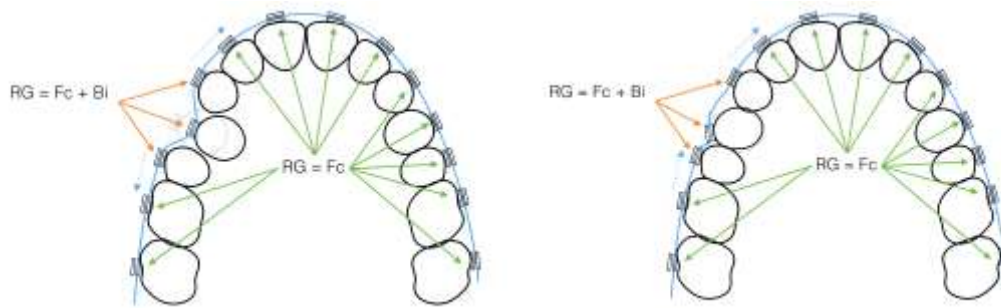


Figure 53: malocclusion unitaire, les dents voisines et la dent en malposition sont sujettes au binding et au frottement classique, par contre si les autres dents sont alignées, leur résistance au glissement ne dépend que du frottement classique. (illustrations personnelles)

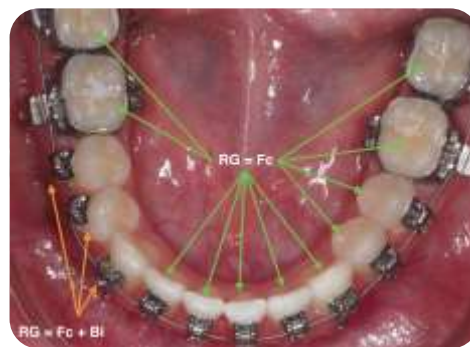


Figure 54: la dent 44 étant la seule dent en malposition, elle subit du binding ainsi que ces deux voisines sur lesquelles l'arc émet des forces. Par contre, toutes les autres dents de l'arcade étant alignées, leur résistance au glissement ne dépend que du frottement classique, qui dépend donc de l'attache et de son système de ligature ; ici attache auto-ligaturante active Empower® en acier, du fil, ici acier tressé coax® en .0155inch et de la salive.
Document CHU Nancy

- **Lorsque toutes les dents sont alignées :**

- Le glissement de l'arc d'un côté ou de l'autre ne dépend que du frottement classique.
 - On peut d'ailleurs remarquer qu'il y a plus d'urgence de lessure cause du glissement de l'arc avec les attaches auto-ligaturantes dans l'étude rétrospective de Anand et al en 2015 (Anand et al. 2015). C'est pour éviter ce genre d'urgence que les auteurs qui utilisent les auto-ligaturants recommandent souvent de mettre des « stop » (Damon 2003; NOURRY 2008) (figure 55)

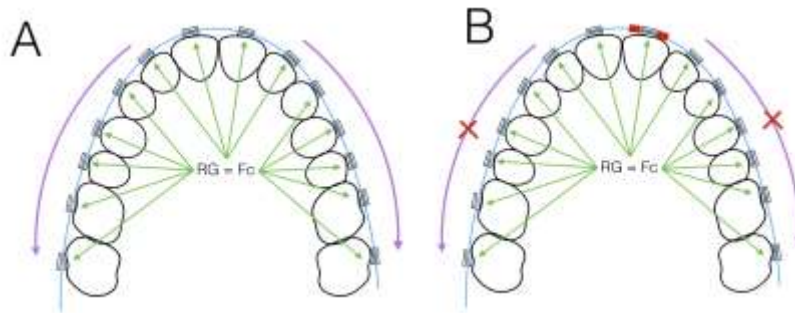


Figure 55 : (A) frottement classique lorsque toutes les dents sont alignées, l'arc peut glisser de chaque côté et risque de provoquer une urgence. (B) utilisation de stop pour empêcher l'arc de glisser à gauche ou à droite. (illustrations personnelles)

- « **Binding** » et « **notching** »

La composante de binding comme vue précédemment arrive lorsqu'il y a une angulation entre l'arc et la gorge de l'attache.

Celle-ci dépend essentiellement :

- Du type d'arc,
- De la qualité de fabrication de l'attache (Ludwig and Bister 2011),
- De la largeur de l'arc (Drescher et al. 1989; Burstone 2008)
- Du rapport M/F lors du déplacement dentaire (Burstone 2008) ; lors d'un mouvement de rétraction, plus la force de rétraction passe loin du centre de résistance, plus l'angulation sera importante lors du déplacement dentaire et donc plus cette composante de binding sera importante (Burstone 2008).

À partir du moment où l'un des coins de la gorge de l'attache arrive en contact avec l'arc le binding apparaît et cette composante devient le principal facteur de résistance au glissement. (Burrow 2009).

En effet, l'étude de Kusy qui mesure la résistance au glissement avec des attaches conventionnelles et des arcs .021x.025 inch montre que cette composante augmente à mesure que l'angle augmente :

- Avec une angulation de 7° elle représente 80% de la résistance au glissement
- Avec une angulation de 13° elle représente 99% de la résistance au glissement (Articolo and Kusy 1999; Burrow 2009).

Le frottement classique dans ces situations semble donc peu significatif. On peut également constater que la composante de binding n'apparaît pas dépendre du système de ligature, elle est donc similaire avec les attaches conventionnelles et auto-ligaturantes. (Burrow 2009)

On peut donc considérer 3 phases lors du glissement d'une dent sur l'arc avec l'utilisation d'une force ne passant pas par le centre de résistance :

- La 1^{er} phase au début de la rétraction, pendant laquelle la dent se verse et les contacts entre les coins de la gorge et l'arc commencent, la résistance au glissement (RG) dépend alors de la friction classique (FC) et du binding (BI) : **RG = FC + BI**
- La 2^{ème} phase quand l'angle entre l'attache et le fil augmente et donc le contact entre les coins de la gorge et l'arc augmente, le binding et la source majeure de résistance au glissement et la friction classique deviennent insignifiants : **RG = BI**
- La 3^{ème} phase si l'angle de contact devient très important, il y a l'apparition de notching (NO) avec création d'une entaille sur l'arc, alors la friction classique et le binding deviennent négligeables : **RG = NO**
(Burrow 2009) (figure 56)

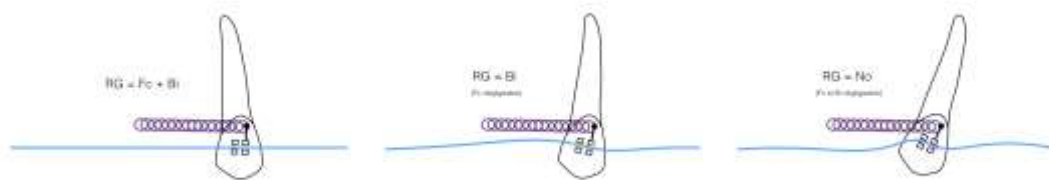


Figure 56: les 3 phases lors de du glissement d'une dent sur l'arc phases selon Burrow (illustration personnelle)

- **Études in-vitro ne montrant pas de différence significative de résistance au glissement en présence de binding entre attaches auto-ligaturantes et attaches conventionnelles**
 - L'étude de Pliska et Al en 2014 mesure la résistance au glissement des attaches conventionnelles Clarity®, inspire Ice®, SpiritMB® et Mystique et des attaches auto-ligaturantes Clarity SL®, In-Ovation C®, In-Ovation R® et Smartclip® avec un moment sur les attaches de 2000g-mm et 4000g-mm. La conclusion est que toutes ces attaches montrent une résistance au glissement similaire en présence de binding, indépendamment du système de ligature. (Pliska et al. 2013)
 - L'étude de Montasser et Al et en 2015 mesure la perte de force (résistance au glissement) lors d'une simulation de rétraction canine in-vitro avec deux attaches conventionnelles avec ligatures métalliques, une attache conventionnelle « low friction » et trois attaches auto-ligaturantes : time®, Speed®, Smartclip®. Ils ne trouvent pas de différence significative entre les attaches auto-ligaturantes et conventionnelles. (Montasser et al. 2015a)
 - La revue systématique d'Ehsani et al en 2009 incluant 19 études in-vitro conclut :
 - Les attaches auto-ligaturantes produisent moins de résistance au glissement par rapport aux attaches conventionnelles avec des arcs ronds de petites sections et en a sence d'angulation et/ou de torque sur des attaches idéalement alignées. (frottement classique)

- Il n'y a pas de preuve que les attaches auto-ligaturantes réduisent la résistance au glissement par rapport aux attaches conventionnelles :
 - Lorsque les arcs ont une section rectangulaire importante.
 - Ou en présence d'angulation ou de torque.
 - Ou lorsque les attaches ne sont pas idéalement alignées.
- La plupart des études montrent une augmentation de la résistance au glissement quand la section de l'arc augmente, avec les attaches auto-ligaturantes et conventionnelles.

(Ehsani et al. 2009) (Tableau 3)

Author	Sample Size	Tested Brackets		
		Self-ligating Metal		
		Passive	Active	Esthetic Passive
Cacciafesta et al 2003 ¹³	270	Damon		Oyster (FRC)
Franchi et al 2008 ²⁷	180	Damon, SmartClip Carriere		Opal-M
Griffiths et al 2005 ²⁰	70	Damon		
Henao and Kusy 2004 ²⁷	480	Damon	In-Ovation, Speed, Time	
Henao and Kusy 2005 ²⁰	100	Damon	In-Ovation, Speed, Time	
Kim et al 2008 ²⁶	785	Damon2, Damon3, In-Ovation SmartClip	Speed, Time 2	
Loftus et al 1999 ¹	120	Damon		
Read-Ward et al 1997 ²⁰	480	Activa	Speed, Mobil-lock	
Redlich et al 2003 ¹⁸	450		Time	
Reicheneder et al 2007 ²⁹	480			Oyster (FRC), Opal (resin)
Shivapuja and Berger 1994 ⁹	84	Activa, Edge-lok	Speed	
Sims et al 1993 ¹¹	96	Activa,	Speed	
Sims et al 1994 ²²	180	Activa		
Smith et al 2003 ⁴²	504	Damon	Speed, Time	
Tecco et al 2005 ²⁰	300	Damon	Time-Plus	
Tecco et al 2007 ³¹	200	Damon	Time-Plus	
Thomas et al 1998 ²²	200	Damon	Time,	
Voudouris 1997 ²⁴	144	Damon (A-company), Interactwin (Ormco)	Sigma	
Yeh et al 2007 ²³	720	Damon, SmartClip		

* Modified conventional or novel brackets³² (also called reduced-friction brackets).¹⁸

Tableau 3 synthèse des 19 études de la revue systématique de Ehsani et Al et 2009. source (Ehsani et al. 2009)

- **Situations cliniques dans lesquelles le phénomène de binding est présent**

Cliniquement, la composante de binding sera présente dans ces situations :

- **Toutes dents non alignées avec l'arc sur laquelle l'arc émet une force** alors :
 - Au plus la dent est en malposition, au plus la composante de binding sera importante et le frottement classique négligeable.
 - À partir d'un moment, le notching apparaît et le binding et la friction classique deviennent négligeables. (figure 57)
 - **RG = FC + BI**

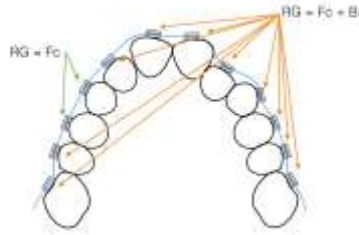


Figure 57: toutes les dents non alignées avec l'arc ou sur lesquelles l'arc émet une force sont sujettes au binding en plus du frottement classique

- **Lors de la rétraction d'une dent par technique de glissement, si la force ne passe pas par le centre de résistance :**
 - Plus la force est loin du centre de résistance, plus la composante de binding sera importante et la friction classique deviendra négligeable
 - À partir d'une certaine angulation, le notching apparaîtra et la friction classique ainsi que le binding deviendront négligeables. (figure 58)
 - $RG = FC+BI$ puis $RG= BI$ (FC négligeable) puis $RG = NO$ (FC et BI négligeables)

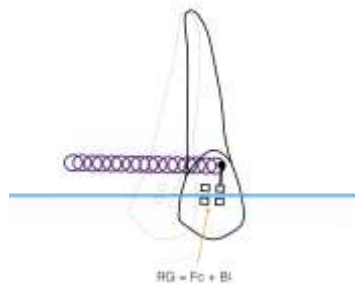


Figure 58: lors de la rétraction d'une dent par technique de glissement, si la force ne passe pas par le centre de résistance, la résistance au glissement est due à la friction classique ainsi que le binding

- ***Le frottement : synthèse***

En conclusion, il faut rester prudent avec l'utilisation du terme d'attache « sans frottement » car dans la plupart des situations cliniques, la force de ligature n'est qu'une composante moindre de la résistance au glissement (Burstone and Choy 2015)

3.2 Efficience du traitement

3.2.1 Engagement total et sécurisant de l'arc

- ***Engagement sécurisant de l'arc***

La sécurité absolue de l'engagement de l'arc, telle que celle fournie par un tube molaire, réduirait la perte d'efficacité du traitement par rapport aux ligatures conventionnelles.

Une étude de Harradine en 2001 a quantifié la perte de ligature élastomérique et l'ouverture in-intentionnelle de l'attache auto-ligaturante Damon® sur 25 cas consécutifs. Le résultat était 15 ligatures perdues chez 9 patients pour 11 ouvertures in-intentionnelles avec l'attache Damon® chez 7 patients. L'auteur reporte également une casse du système de fermeture pour 31 attaches, chez 15 patients (Harradine 2001).

Cependant, depuis cette étude, les attaches auto-ligaturantes se sont fortement développées, les attaches de première génération (ici Damon® 1) n'apportaient pas une sécurité d'engagement de l'arc comparable à celle d'un tube molaire, mais aujourd'hui la plupart d'entre eux possèdent des mécanismes leur conférant cet avantage. Ils peuvent par définition assurer l'engagement total de tous les arcs et éviter l'écueil de la perte de contrôle des dents, consécutif au dégageant inopiné de l'arc (Harradine 2013a, 2013b).

Un autre avantage pouvant être avancé pour les attaches auto-ligaturantes est qu'elles garantissent un engagement complet de l'arc dans la fente. Autrement, le dispositif de fermeture ne fonctionnerait pas correctement. Cela peut être important si des changements de fils sont faits par des opérateurs moins expérimentés qui auront plus de difficultés à repérer les arcs partiellement engagés. (Ludwig and Bister 2011) (figure 59)



Figure 59: Arc partiellement engagé (image: CHU Nancy)

- ***Force d'engagement de l'arc***

La force exercée par le système de ligature sur l'arc est également un élément à prendre en considération dans l'utilisation d'attaches auto-ligaturantes. Cette force est constante et nulle pour les attaches auto-ligaturantes passives, en effet, l'attache se comporte comme un tube.

À l'inverse, les attaches actives possèdent un système de fermeture qui génère une force sur l'arc pour le plaquer au fond de la gorge de l'attache.

Par rapport aux attaches conventionnelles, on peut donc comparer les ligatures métalliques aux attaches passives et les ligatures élastomériques aux attaches actives.

La question que se posent alors certains auteurs est la constance de la force exercée par la ligature élastomérique jusqu'à son changement et par le système de fermeture du début à la fin du traitement.

En effet, les ligatures élastomériques vont se dégrader en milieu buccal, ainsi la force qu'elles exercent sur les arcs et leur état de surface va se modifier. De plus le diamètre, la section et donc la force exercée par les ligatures peuvent changer en fonction du fabricant et également en fonction de la couleur de la ligature. (Lam et al. 2002; Fleming et al. 2008; Petersen et al. 2009; Serra Guimarães et al. 2013)

Concernant les attaches auto-ligaturantes actives, une étude compare la rigidité du système de fermeture sur l'attache In-ovation R® (clip en chrome co alt) et l'attache Speed® (clip en nickel-titanium) sur des attaches neuves puis des attaches en fin de traitement. Les résultats montrent que le système de fermeture des deux attaches n'est pas déformées plastiquement en fin de traitement, cependant le clip de l'attache In-Ovation R® va perdre environ 50% de rigidité en fin de traitement, alors que la rigidité de l'attache Speed® ne varie que très peu dans le temps. (figure 60) (Eliades and Pandis 2009a; Pandis et al. 2010c)

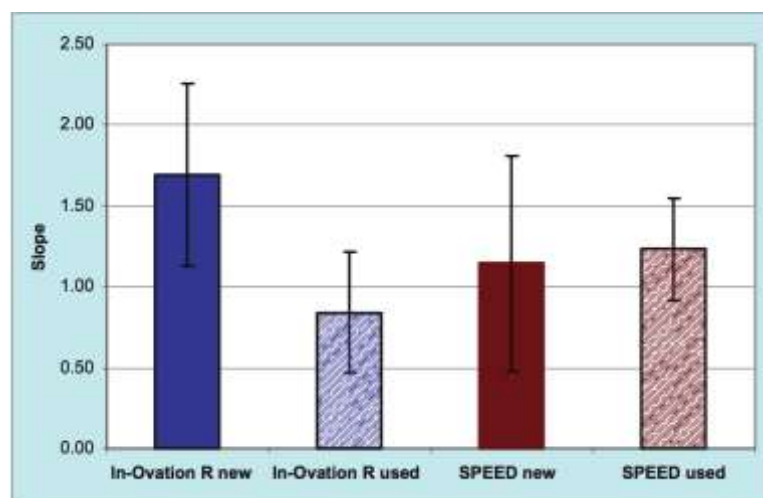


Figure 60: rigidité du système de fermeture de deux attaches auto-ligaturantes actives avant et après 18 mois d'utilisation , source (Eliades and Pandis 2009b)

- **Contrôle du torque**

Afin d'o tenir un contrôle complet du torque, il faut un arc de pleine taille et un système de ligature qui place l'arc en fond de gorge. La principale différence entre les attaches pré-informées dans les tableaux de prescriptions réside dans la valeur du torque.

La pleine expression du torque dépend d'un certain nombre de facteurs, certains étant induits par l'opérateur et d'autres non.

La Perte de torque est due à des variations :

- De la dimension et de la qualité de fabrication de la gorge et des arcs.
- Du positionnement de l'attache.
- De la forme de la dent.(Cash et al. 2004; Gioka and Eliades 2004; Fleming et al. 2008; Ludwig and Bister 2011)

- **Études in-vitro sur le contrôle du torque**

Une hypothèse possible est que les attaches auto-ligaturantes et plus particulièrement les attaches passives donnent un moins bon contrôle du torque. Cette hypothèse était basée sur le fait que les forces vestibulo-linguales émises par une ligature conventionnelle sont plus importantes que les forces émises par un système auto-ligurant passif, ce qui permet l'arc de se mettre au fond de la gorge de l'attache. Il faut ajouter à cela les forces des faces supérieures et inférieures de la gorge de l'attache, qui seront identiques pour une attache conventionnelle ou auto-ligaturante.

- Une étude de Huang et Al sur éléments finis tente de répondre théoriquement à cette question :
 - Elle compare 3 attaches : Discovery® : conventionnelle avec des ligatures élastomériques et métalliques, Damon 3MX® : auto-ligaturante passive et Speed® : auto-ligaturante active avec un clip en Nickel-titanium.(Figure 61)

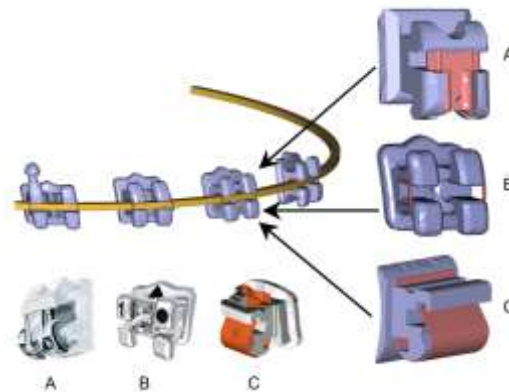


Figure 61: modélisation des attaches Damon MX® (A), Discovery® (B) et Speed® (C) pour l'analyse par méthode des éléments finis (source: Yue Huang et al 2009)

- Les résultats montrent que c'est surtout la dimension et l'alliage de l'arc qui ont un effet sur le torque, et que le jeu de torque est à peu près équivalent pour les attaches conventionnelles et légèrement supérieur pour l'attache Damon® passive, cependant l'attache Speed® active réagit différemment : en effet le jeu de torque serait plus réduit (figure 62, 63) et les forces bien plus faibles (figure 63), de l'ordre de 4,2 fois plus faibles qu'avec une attache conventionnelle et une ligature élastomérique.

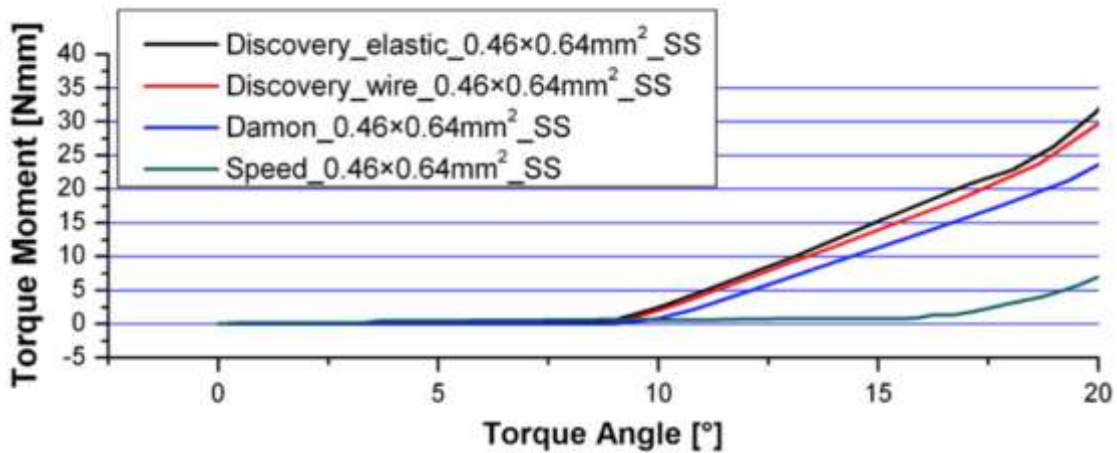


Figure 62: Moment de torque pour les attaches Discovery avec ligatures élastomériques (noir) Discovery avec ligatures métalliques (rouges), Damon MX® (bleu) et Speed® (Vert) avec un arc .018x.025inch en acier. On peut remarquer le jeu de torque plus réduit de l'attache speed et les forces plus faibles pour l'attache speed. (source : Yue Huang et al 2009)

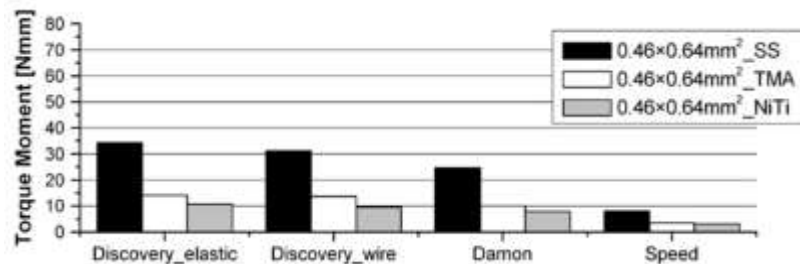


Figure 63: moment maximum pour un arc .018x.025 en acier, TMA et NiTi pour les attaches Discovery® avec ligatures élastomériques, Discovery avec ligatures métalliques, Damon MX® et Speed® (source : Yue Huang et al 2009)

- D'après cette étude on peut donc conclure que théoriquement :
 - Les attaches actives (avec clip en niti) permettraient un jeu de torque plus réduit et des moments de torque plus faibles
 - Les attaches passives ont un jeu de torque légèrement plus élevé que les attaches conventionnelles. (Bourauel 2009; Huang et al. 2009; Dalstra et al. 2015)
- D'autres études sont faites en laboratoire pour étudier le contrôle du torque des attaches auto-ligaturantes :
 - Ces études montrent une efficacité significativement plus importante des attaches auto-ligaturantes actives (Shivapuja and Berger 1994; Badawi et al. 2008) ou une efficacité plus importante mais non significative. (Bauchli et al. 2011b; Dalstra et al. 2015)
- Par contre, dans l'étude de Bauchli et al en 2011, l'auteur montre que le moment induit par le clip auto-ligaturant actif représente environ 1/10^{ème} du moment de

torque recommandé dans la littérature pour entraîner un mouvement dentaire. (Dalstra et al. 2015)

Cependant, dans ces études de laboratoire, la plupart des auteurs trouvent une plus grande importance de la dimension de la gorge de l'attache que du système de ligature dans le contrôle du torque. (Morina et al. 2008; Bourauel 2009; Dalstra et al. 2015) De plus, les gorges des attaches sont souvent surdimensionnées comme le montre l'étude de Brown et Al sur la dimension des gorges des attaches conventionnelles et auto-ligaturantes en 2014. (Brown et al. 2014)

- **Études in-vivo montrant un meilleur contrôle du torque avec les attaches auto-ligaturantes :**

- Une revue systématique regroupe 3 études qui comparent les attaches conventionnelles aux attaches Damon® :
 - Parmi ces 3 études deux sont des études prospectives (Jiang and Fu 2008; Pandis et al. 2010c) et l'une est un essai clinique randomisé (Scott et al. 2008a).
 - Cette revue systématique trouve une proclinaison légèrement plus faible pour les attaches auto-ligaturantes (1,5°) (figure 64) (Chen et al. 2010)

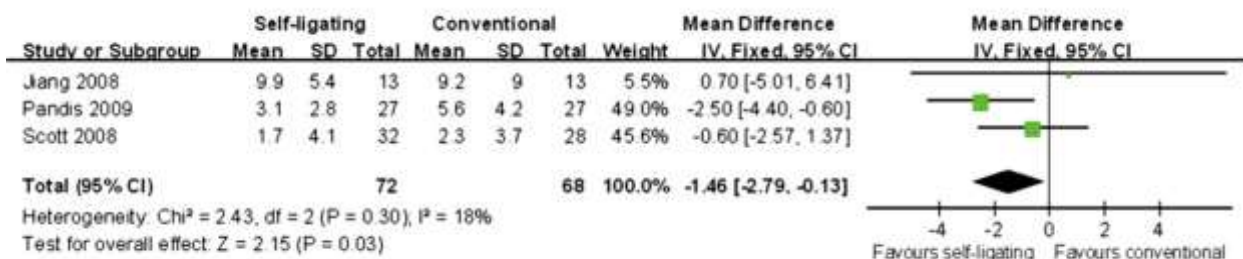


Figure 64: méta-analyse des études de Jiang 2008, Pandis et Al 2010, Scott et al 2008. On peut voir une proclinaison de l'incisive mandibulaire légèrement plus faible pour le groupe des attaches auto-ligaturantes (Damon® dans ces 3 études), source : (Chen et al 2010)

- **Études ne montrant pas un meilleur contrôle du torque avec les attaches auto-ligaturantes :**

Deux auteurs ne trouvent pas de meilleur contrôle du torque avec l'utilisation d'attache auto-ligaturante :

- L'étude in-vivo par Pandis et al en 2006 :
 - Essai clinique randomisé sur 105 patients qui compare l'inclinaison de l'incisive maxillaire de début de traitement et de fin de traitement.
 - Deux groupes de patients : l'un avec une attache conventionnelle métallique et l'autre avec l'attache Damon 2® auto-ligaturante passive.
 - Les résultats ne montrent pas de différence entre les deux groupes concernant l'inclinaison de l'incisive maxillaire. (Pandis et al. 2006)

- Une autre étude in-vivo rétrospective de Machibya en 2012 :
 - Essai clinique randomisé sur 69 patients
 - Compare l'attache auto-ligaturante Smartclip® passive à une attache conventionnelle avec ligatures métalliques
 - Les résultats montrent une inclinaison vestibulaire supérieure de 3,62° de l'incisive mandibulaire pour le groupe des attaches Smartclip®.(Machibya et al. 2012)

On peut cependant remarquer que ces études comparent une attache conventionnelle à une attache auto-ligaturante passive, et que les études in-vitro montrent plutôt une différence dans le contrôle du torque entre attaches auto-ligaturantes actives et attaches conventionnelles. Les attaches auto-ligaturantes passives ayant un contrôle du torque similaire par rapport aux attaches conventionnelles. (Badawi et al. 2008; Bourauel 2009; Huang et al. 2009)

- **Synthèse**

D'après les études in-vitro, les attaches auto-ligaturantes, en particulier actives permettraient un meilleur contrôle du torque, cependant les études in-vivo ne montrent pas de manière significative une amélioration de ce paramètre.

3.2.2 Durée totale de traitement et nombre de rendez vous

Une durée totale de traitement plus courte et un nombre de rendez-vous réduit est également un avantage attendu des attaches auto-ligaturantes.

- ***Études montrant une amélioration du temps de traitement et du nombre de rendez avec les attaches auto-ligaturantes.***

Deux études rétrospectives vont venir appuyer cette hypothèse en 2001 :

- L'étude de Harradine :
 - Uni centrique sur 60 patients
 - Les résultats montrent une réduction du temps de traitement de 4,1 mois et une réduction du nombre de rendez vous de 3,8 pour le groupe traité avec les attaches Damon®.(Harradine 2001).
- L'étude de Eberling et Al :
 - Multicentrique regroupant 215 patients
 - L'auteur trouve une réduction du temps de traitement de 6,3 mois et une réduction du nombre de rendez-vous de 6,9 pour le groupe avec les attaches Damon®.(Eberling et al. 2001)

Cependant, les études rétrospectives comportant des biais, d'autres études prospectives seront nécessaires pour confirmer ou infirmer l'hypothèse d'un traitement plus court avec des attaches auto-ligaturantes. (Graber et al. 2011)

- ***Études ne montrant pas d'amélioration du temps de traitement et du nombre de rendez vous avec les attaches auto-ligaturantes***

Deux autres études rétrospectives seront effectuées par Hamilton et al en 2008 et Machibya et al en 2012, elles ne trouvent pas de différence dans le temps de traitement entre les attaches auto-ligaturantes et conventionnelles (Hamilton et al. 2008; Machibya et al. 2012)

Quatre études Prospectives qui comparent des traitements effectués avec des attaches conventionnelles et auto-ligaturantes passives Damon® (DiBiase et al. 2011), smartclip® (Fleming et al. 2010; O'Dywer et al. 2015) ou auto-ligaturantes actives Time® (Johansson and Lundström 2012) ne trouvent pas de différences significatives pour la durée totale de traitement et le nombre de rendez-vous pour les patients traités avec des attaches conventionnelles ou auto-ligaturantes.

- ***Synthèse sur le temps de traitement et le nombre de rendez-vous***

En se basant sur ces recherches, on ne peut pas conclure que le type d'attache ait une influence significative sur la durée du traitement orthodontique ou sur le nombre de rendez-vous nécessaire. (Huang et al. 2011).

En outre, la durée du traitement est surtout modifiée par la compétence, l'expérience, les objectifs de traitement du praticien et le type de malocclusion du patient. (Skidmore et al. 2006)

3.2.3 Alignement initial

Une phase d'alignement initial plus rapide et plus efficace pourrait permettre une réduction du temps de traitement, un certain nombre d'auteurs se sont donc intéressés à la différence de temps et de résultats de l'alignement initial entre les attaches conventionnelles et les attaches auto-ligaturantes.

- ***Études in-vitro sur l'alignement initial***

Deux auteurs ont réalisé des études in-vitro sur tyodont afin d'évaluer les forces émises sur les dents lors d'une simulation d'encombrement :

- L'étude de Pandis et al en 2009 :
 - Simule un encombrement mandibulaire.
 - L'auteur trouve des forces vestibulo-linguales plus importantes pour le groupe des attaches auto-ligaturantes (Damon 2® et In-ovation-R) par rapport aux attaches conventionnelles alors que les forces verticales sont équivalentes(Pandis et al. 2009).
- En 2015 Montasser et Al feront deux études de laboratoires sur un tyodont simulant une malocclusion.
 - Les résultats montrent que les niveaux de forces restituées sur les attaches dépendront du type d'attache et du système de ligature et en particulier que

les attaches conventionnelles avec ligatures élastomériques procurent des forces plus importantes (Figure 65) (Montasser et al. 2015b) et une correction moindre de l'encombrement (Figure 66) (Montasser et al. 2015a) comparativement aux attaches conventionnelles avec des ligatures métalliques ou aux attaches auto-ligaturantes passives ou actives.

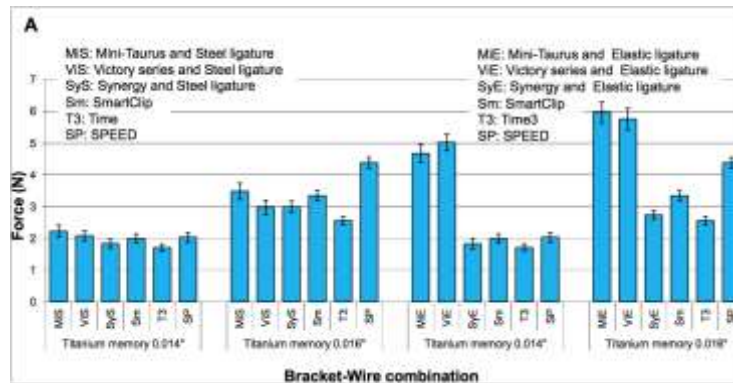


Figure 65: force en newton exercée sur les différents types d'attaches dans la l'axe X (verticale) pour une incisive latérale déplacée de 2mm en gingivale et 2mm en linguale avec un arc 0.016 inch et 0.014 inch niti. On remarque les forces plus importantes avec les attaches conventionnelles couplées aux ligatures élastomériques. (source : (Montasser et al. 2015b))

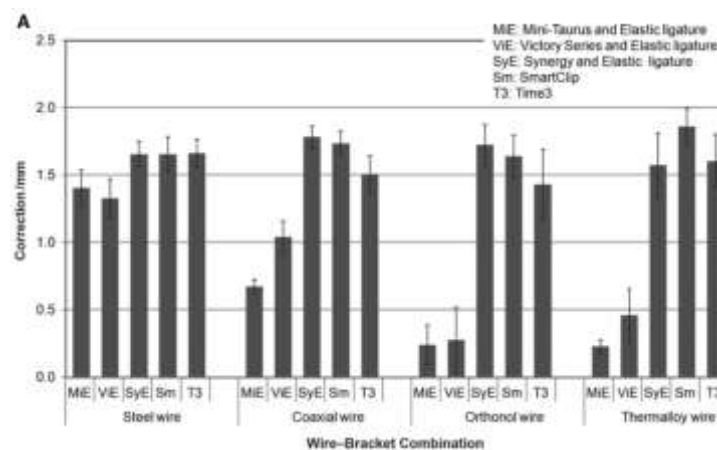


Figure 66: correction maximale en mm avec différents arcs et différentes attaches, on remarque la correction moindre des attaches conventionnelles couplées aux ligatures élastomériques par rapport aux attaches auto-ligaturantes (source : (Montasser et al. 2015a))

- **Études in-vivo sur l'alignement initial**

Un certain nombre d'études prospectives ont analysé l'efficacité de l'alignement initial. Les résultats de ces tests ont démontré de manière constante que les attaches auto-ligaturantes ne semblent pas offrir de bénéfice quant à l'efficacité du traitement durant la phase d'alignement initial (Fleming and O'Brien 2013).

Parmi ces études prospectives, certaines calculent le temps nécessaire à l'alignement initial (Pandis et al. 2007, 2010b; Scott et al. 2008a; Megat Abdul Wahab et al. 2012; Songra et al. 2014) et d'autres l'efficacité de l'alignement entre un temps initial et un deuxième temps, calculé en général avec l'index d'irrégularité de Little qui est une analyse

en 2 dimensions (Miles 2005; Miles et al. 2006; Scott et al. 2008a; Ong et al. 2010; Megat Abdul Wahab et al. 2012; Celikoglu et al. 2015) alors qu'une étude utilise une mesure en trois dimensions de l'encombrement (Fleming and O'Brien 2013).

- L'étude prospective de Pandis et al en 2007
 - Sur 54 patients sans extraction
 - Calcule le temps nécessaire à l'alignement initial de la mandibule entre l'attache Damon 3® auto-ligaturante passive et une attache conventionnelle.
 - La séquence d'arc n'est pas la même pour le groupe traité avec attache Damon (.014 inch niti, puis .014x.025 inch niti de forme de Damon®) et pour le groupe avec attaches conventionnelles (.016 inch niti, .020 inch niti de forme standard).
 - Les patients sont vus tous les mois et le temps nécessaire à l'alignement initial est calculé.
 - L'auteur trouve une différence de 23 jours en moins pour l'alignement initial dans le groupe traité avec les attaches Damon®, mais cette différence n'est pas significative, il trouve également que l'alignement initial est 2,7 fois plus rapide avec les attaches Damon® en cas d'encombrement modéré (indice d'irrégularité de Little inférieur à 5) (Pandis et al. 2007)
- Une autre étude prospective de Pandis et al en 2010 :
 - Compare le temps nécessaire à l'alignement initial maxillaire chez 70 patients avec un traitement sans avulsion.
 - Avec attaches auto-ligaturantes passives (Damon 3MX®) ou attaches auto-ligaturantes actives (In-ovation R®).
 - L'auteur ne trouve pas de différence significative entre attaches auto-ligaturantes actives ou passives pour le temps nécessaire à l'alignement initial.(Pandis et al. 2010b)
- Une étude prospective de Songra et Al en 2014 :
 - Compare le temps nécessaire à l'alignement initial chez 100 patients avec extraction de 4 prémolaires réparties dans 3 groupes : attaches conventionnelles avec ligatures élastomériques, attaches auto-ligaturantes passives (Damon®) et attaches auto-ligaturantes actives (In-ovation R).
 - Les 3 groupes reçoivent une séquence d'arc identique (.014 inch niti, .018inch niti, .016x.022 inch niti puis .019x.025 inch acier)
 - L'alignement est considéré comme terminé quand l'arc .019x.025 acier est mis en place.
 - L'auteur trouve un temps nécessaire à l'alignement initial significativement plus faible dans le groupe traité avec des attaches conventionnelles qui est de 251 jours alors qu'il est de 422 jours avec les attaches Damon 3MX® et de 399 jours avec l'attache In-ovation R®.
 - Cependant, les patients traités avec les attaches conventionnelles sont vus une fois toutes les 6 semaines alors que les patients traités avec les attaches auto-ligaturantes sont vus une fois toutes les 12 semaines, soit 2 fois moins souvent. Alors qu'il n'est actuellement pas admis que les attaches

auto-ligaturantes permettent de réduire le nombre de rendez-vous (CF 6.1) (Songra et al. 2014)

- L'étude prospective de Miles et al en 2006 :
 - Compare l'efficacité de l'alignement initial avec l'indice d'irrégularité de Little chez 60 patients.
 - L'étude est faite en *split mouth* (bouche divisée en 2) à la mandibule avec un côté avec des attaches conventionnelles et ligatures élastomériques et l'autre coté avec des attaches Damon2® auto-ligaturantes passives.
 - L'auteur ne trouve pas de différence significative dans l'efficacité de l'alignement dans les 2 groupes.(Miles et al. 2006)
- L' étude prospective de Fleming et Al en 2009 :
 - Compare l'efficacité de l'alignement initial avec des mesures en 3 dimensions.
 - Chez 65 patients traités sans extractions avec attaches auto-ligaturantes passives Smartclip® ou attaches conventionnelles.
 - L'auteur trouve un alignement légèrement plus efficace dans le groupe des attaches auto-ligaturantes, mais cette différence n'est pas significative. (Fleming et al. 2009b)

- **Synthèse sur l'alignement initial**

L'ensem le de ces études prospectives indique que si le temps de traitement total est plus court avec des attaches auto-ligaturantes, alors ce gain de temps n'a pas lieu lors de la phase d'alignement initial. Cependant, la mesure de l'encom rement est difficile et l'un des principaux biais de cette mesure est la précision de collage des attaches. (Tableau 4) (Huang et al. 2011)

Etude	Matériel et méthode	nombre de patients	groupe	Conclusion
Miles, Peter G. 2005. "SmartClip versus Conventional Twin Brackets for Initial Alignment: Is There a Difference?" Australian Orthodontic Journal	Calcul de l'index d'irrégularité à T0 T1= 10 semaines T2=20 semaines	48	Smartclip n=24 conventionnelles n=24	L'attache smarclip n'est pas plus efficace pour l'alignement initial qu'une attache conventionnelle avec ligatures élastomériques ou métalliques
Miles, Peter G., Robert J. Weyant, and Luis Rustved. 2005. "A Clinical Trial of Damon 2 vs Conventional Twin Brackets during Initial Alignment." The Angle Orthodontist	Split-mouth, calcul de l'index d'irrégularité à T0 T1= 10 semaines T2= 20 semaines	58	Damon n= 58 conventionnelle n=58	L'attache Damon 2 n'est pas plus efficace durant l'alignement initial qu'une attache conventionnelle
Pandis, Nikolaos, Argy Polychronopoulou, and Theodore Eliades. 2007. "Self-Ligating vs Conventional Brackets in the Treatment of Mandibular Crowding: A Prospective Clinical Trial of Treatment Duration and Dental Effects." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics	Calcul du temps nécessaire à l'alignement initial, les patients sont vus tout les mois	54	Damon n=27 Conventionnelle n=27	Il n'y a pas de différence de temps nécessaire à l'alignement initial entre l'attache Damon et une attache conventionnelle, par contre pour un encombrement modéré, l'attache damon permet un alignement 2.7 fois plus rapide
Scott, Paul, Andrew T. DiBiase, Martyn Sherriff, and Martyn T. Cobourne. 2008. "Alignment Efficiency of Damon3 Self-Ligating and Conventional Orthodontic Bracket Systems: A Randomized Clinical Trial." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics	Mesure de l'index d'irrégularité à T1 T2 lors du 1er changement d'arc T3 lors de la mise en place du dernier arc	62	Damon n=33 Conventionnelle n=29	L'attache damon n'est pas plus efficace qu'une attache conventionnelle pour l'alignement des dents
Fleming, Padraig S., Andrew T. DiBiase, Graimall Sarri, and Robert T. Lee. 2009. "Efficiency of Mandibular Arch Alignment with 2 Preadjusted Edgewise Appliances." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics	Mesure en 3 dimensions de l'encombrement à T0 T1 = 8 semaines	65	Smartclip n=32 Conventionnelle n=33	L'efficacité de l'alignement initial est indépendant du type d'attache
Pandis, Nikolaos, Argy Polychronopoulou, and Theodore Eliades. 2010. "Active or Passive Self-Ligating Brackets? A Randomized Controlled Trial of Comparative Efficiency in Resolving Maxillary Anterior Crowding in Adolescents." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics	Mesure du temps nécessaire à l'alignement initial, les patients sont vus tout les mois	70	Damon n=35 In-ovation n=35	L'utilisation d'attaches auto-ligurantes actives ou passives ne semble pas influencer sur le temps nécessaire à la réduction de l'encombrement
Ong, Emily, Hugh McCallum, Mark P. Griffin, and Christopher Ho. 2010. "Efficiency of Self-Ligating vs Conventionally Ligated Brackets during Initial Alignment." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics	Mesure de l'index d'irrégularité à T0 T1= 10 semaines T2= 20 semaines	50 patients 84 arcades	Damon n=44 conventionnelle n=40	Les attaches auto-ligurantes ne sont pas plus efficaces que les attaches conventionnelles pour l'alignement initial durant les 20 premières semaines. Le système de ligatures n'est qu'un seul des nombreux facteurs qui peut influencer l'efficacité du traitement.
Megat Abdul Wahab, R., H. Idris, H. Yacob, and S. H. Zainal Ariffin. 2012. "Comparison of Self- and Conventional-Ligating Brackets in the Alignment Stage." The European Journal of Orthodontics	Mesure de l'indice d'irrégularité à T0, T1= 1mois, T2= 2mois, T3= 3mois et T4=4mois	29	Damon n= 14 conventionnelle n=15	les attaches conventionnelles alignent les dents plus rapidement durant le 1er mois. il n'y a pas de différence entre les deux attaches durant les 3mois suivant la réduction de l'encombrement est plus rapide avec les attaches conventionnelles qu'avec les attaches auto-ligurantes
Songra, Goldie, Matthew Clover, Nikki E. Atack, Paul Ewings, Martyn Sherriff, Jonathan R. Sandy, and Anthony J. Ireland. 2014. "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." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics	Mesure du temps nécessaire avant de pouvoir mettre en place le dernier arc	98	Damon n=41 In-ovation n=37 conventionnelle n=20	Le temps nécessaire à l'alignement initial est significativement plus court avec les attaches conventionnelles qu'avec les attaches auto-ligurantes actives ou passives. il n'y a pas de différence entre les attaches actives et passives
Celikoglu, Mevlut, Mehmet Bayram, Metin Nur, and Dogan Kilikis. 2015. "Mandibular Changes during Initial Alignment with SmartClip Self-Ligating and Conventional Brackets: A Single-Center Prospective Randomized Controlled Clinical Trial." Korean Journal of Orthodontics	Mesure de l'indice d'irrégularité à T0 T1=8semaines T2=12semaines	46	Smartclip n=22 conventionnelles n=24	L'attache smarclip n'est pas plus efficace lors de l'alignement initial comparé à une attache conventionnelle, le type d'attache n'a qu'un effet limité durant l'alignement initial

Tableau 4 : récapitulatif des études sur le temps nécessaire à l'alignement initial.

3.2.4 Fermeture des espaces

Un avantage possible des attaches auto-ligurantes pourrait être une réduction du temps nécessaire la fermeture d'espace. La façon la plus commune pour mesurer cette vitesse de fermeture d'espace est l'étude en *split-mouth* ; sur une même arcade, une canine est rétractée d'un côté avec une attache auto-ligurante et de l'autre avec une attache conventionnelle. Ce protocole sous-entend que la vitesse de fermeture d'espace mesurée sur un côté est indépendante de celle du secteur opposé.

- **Études sur la fermeture d'espace in-vitro**
 - L'étude de Costa Monini et al de 2014 :
 - Mesure la vitesse de rétraction canine ainsi que la perte d'ancrage et le changement d'inclinaison de la canine et de la molaire.

- Sur 25 patients en classe I avec avulsion de 4 premières prémolaires en *split-mouth*.
- D'un côté les canines sont équipées d'attaches In-ovation R® auto-ligaturantes actives et de l'autre d'attaches conventionnelles avec ligatures métalliques.
- La rétraction est effectuée une fois le nivellement terminé sur un arc acier .020 inch avec un ressort en nickel-titane et une force de 100 grammes.
- Les résultats montrent que les deux attaches ont une vitesse de rétraction canine, ainsi qu'une perte d'ancrage et une inclinaison de la molaire et de la canine en fin de rétraction similaire.(da Costa Monini et al. 2014)
- L'auteur compare également ces résultats avec trois autres études prospectives effectuées en *split mouth* sur la vitesse de rétraction de la canine. Celle de Mézomo et al de 2011, de Oz et AL de 2011 et de Burrow en 2010 qui étudient toute les trois l'attache Smartclip® comparée à une attache conventionnelle.
- Ces 3 études montrent des résultats similaires ; elles ne trouvent pas de différence significative dans la vitesse de rétraction canine entre une attache conventionnelle et auto-ligaturante. (figure 67)(Burrow 2010; Mezomo et al. 2011; Oz et al. 2011; da Costa Monini et al. 2014)

Reference	SLB, mm/mo	CB, mm/mo	P
Mezomo et al. ¹⁴	0.90	0.84	.356
Burrow ¹¹	1.00	1.17	.0001
Oz et al. ¹⁶	1.83	1.89	.77
Present study	0.71	0.72	.931

Figure 67: vitesse de rétraction de la canine du côté auto-ligaturant et conventionnel dans les 4 études split-mouth de Mézomo et al 2011, Burrow 2010, Oz et al 2011 et da Costa Monini 2014, source : Mezomo et al 2011

- Une étude de Miles en 2007 :
 - Mesure la rétraction en masse.
 - également réalisée en *split mouth* avec un côté avec l'attache Smartclip® et l'autre avec attaches conventionnelles et ligatures métalliques.
 - La rétraction est fait sur un arc .016x.025 inch acier et un ressort en niti de 150g sur un crochet soudé à l'arc.
 - L'auteur ne trouve pas de différence dans la vitesse de rétraction entre les deux attaches.(Miles 2007)
- Enfin, l'étude de Ong et Al en 2010 :
 - Mesure la fermeture d'espace passive durant l'alignement initial.
 - Entre attaches conventionnelles et auto-ligaturantes passives Damon®.
 - Là aussi, l ne trouve pas différence dans la fermeture d'espace passive entre les deux groupes. (Ong et al. 2010)

- **Synthèse : Fermeture d'espace**

Ces études montrent donc de façon constante que les attaches auto-ligaturantes ont une influence très limitée lors de la fermeture d'espaces d'extractions par méthode de glissement. (Fleming and O'Brien 2013)

Cette discordance entre les résultats des études de laboratoires sur la friction et les études cliniques sur la fermeture d'espaces peut s'expliquer par le phénomène de binding qui surpasse largement la friction classique lors d'une rétraction canine avec une force ne passant pas par le centre de résistance.

3.2.5 Distances inter-molaires et inter-canines

Les systèmes auto-ligaturants sont réputés pour permettre une expansion d'arcade plus importante que les systèmes conventionnels, particulièrement au niveau de la distance inter-molaire ce qui permettrait d'éviter des extractions, en gagnant de l'espace grâce à cette expansion (Meeran 2012).

Certaines publications montrent des cas cliniques avec une grande augmentation de la distance inter-molaires jusqu'à 10mm avec le système Damon® (Damon 1998a, 1998b). Il faut cependant garder à l'esprit que la « technique Damon » se fait avec des attaches spécifiques que sont les attaches auto-ligaturantes passives Damon®, mais également avec des séquences d'arcs et une forme d'arcade spécifique Damon® (figure 68), ainsi qu'avec une philosophie particulière, basée sur une approche sans extraction et l'utilisation de contentions collées permanentes. L'attache auto-ligaturante elle-même n'étant alors plus l'unique paramètre.

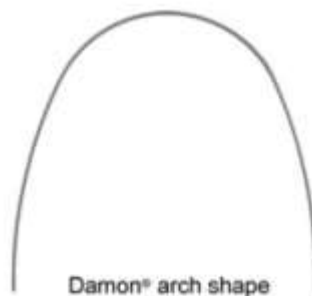


Figure 68: forme d'arcade Damon®. source (Cattaneo et al. 2011)

- **Études in-vivo sur la distance inter-canine**

Les études qui comparent la distance inter-canines entre des traitements avec attaches auto-ligaturantes et conventionnelles ne trouvent pas de différence significative que les séquences d'arcs soient identiques dans les deux groupes (Scott et al. 2008a; Fleming et al. 2009a; Ong et al. 2010; Cattaneo et al. 2011; Pandis et al. 2011; Celikoglu et al. 2015) ou différentes. (Pandis et al. 2007, 2010c; Tecco et al. 2009 ; Atik and Ciğer 2014)

- **Études in-vivo sur la distance inter-molaire**
- **Études montrant une augmentation de la distance inter-molaire plus importante avec les attaches auto-ligaturantes**

Trois études trouvent une augmentation de la distance inter-molaire avec l'utilisation d'attaches auto-ligaturantes :

- L'étude prospective de Fleming et al en 2009 :
 - Compare la distance inter-molaire de début et de fin de traitement.
 - La séquence d'arc est la même dans les deux groupes.
 - Les résultats montrent une augmentation de la distance inter-molaires plus importante de 0,9 mm ($p < .05$) dans le groupe avec attaches auto-ligaturantes Smartclip®.
- Les deux études prospectives de Pandis et al en 2007 et 2010 :
 - Comparent la distance inter-molaire de début et de fin de traitement.
 - Les séquences d'arcs sont différentes dans les deux groupes, avec l'utilisation d'arc de forme Damon® dans le groupe avec attaches Damon®.
 - Les résultats montrent une augmentation de la distance inter-molaires plus importante de 1,5mm et 1,4mm ($p < .05$) dans le groupe Damon® comparée au groupe avec attaches conventionnelles.

- **Études ne montrant pas d'augmentation de la distance inter-molaire plus importante avec les attaches auto-ligaturantes**

Sept autres études mesurent la distance inter-molaires entre attaches auto-ligaturantes Damon® (Scott et al. 2008a; Tecco et al. 2009b; Ong et al. 2010; Pandis et al. 2011; Atik and Ciger 2014) ou Smartclip® (Celikoglu et al. 2015) et attaches conventionnelles. Les résultats ne montrent pas de différence significative entre les deux groupes.

L'étude de Cattaneo et al en 2011 mesure également la différence de distance inter-molaires et inter-canines entre deux attaches auto-ligaturantes. L'une active : In-ovation® et l'autre passive : Damon® , toutes deux avec les séquences d'arcs préconisées par les fabricants. Les résultats ne montrent pas de différence dans la distance inter-molaires ou inter-canines.

Enfin, l'étude de Atik et Ciger en 2014 compare la distance inter-molaires et inter-canines entre un groupe traité avec des attaches auto-ligaturantes Damon® et des arcs Damon® et un groupe traité avec un quad'helix puis avec des attaches conventionnelles. Les résultats ne montrent pas de différence significative pour les distances inter-molaires et inter-canines mais une inclinaison buccale plus importante des molaires dans le groupe Damon®.

- **Synthèse sur les distances inter-molaires et inter-canine**

D'après les études précédemment citées, on peut donc conclure que le type d'attache n'a pas un effet significatif sur les dimensions inter-arcades, il sem le que ce soit l'ensem le séquence d'arc, forme d'arc et type d'attache qui influence ce paramètre.

3.2.6 Résorption radiculaire

Seules trois études s'intéressent à la résorption radiculaire apicale entre attaches conventionnelles et attaches auto-ligaturantes.

- L'étude de Pandis et al en 2008 :
 - Mesure les résorptions apicales sur des radiographies panoramiques.
 - L'auteur ne trouve pas de différence significative entre les patients traités avec attaches auto-ligaturantes Damon® et avec attaches conventionnelles. (Pandis et al. 2008a)
- L'étude de Scott et al en 2008 :
 - Mesure la longueur des incisives mandibulaires chez des patients traités avec attaches auto-ligaturantes Damon® et conventionnelles suite à l'alignement initial.
 - L'auteur ne trouve pas non plus de différence significative entre les deux groupes. (Scott et al. 2008b)
- Une dernière étude rétrospective plus récente de Jacobs et al en 2014 :
 - Mesure la résorption apicale sur une radiographie panoramique chez 213 patients traités avec attaches auto-ligaturantes Smartclip® (139) et conventionnelles (74).
 - L'auteur ne trouve pas de différence significative entre les deux groupes. (Jacobs et al. 2014)

Le nom re d'étude sur les résorptions apicales avec l'utilisation d'attaches auto-ligaturantes comparées aux attaches conventionnelles est faible, les études ayant été faites pour le moment ne montrent pas de différence sur ce paramètre.

3.3 Hygiène

Les appareils orthodontiques fixes rendent l'hygiène plus difficile en créant des refuges pour la colonisation microbienne. (Meeran 2012)

Les études montrent une augmentation des streptococcus mutans lors de la mise en place d'un appareil orthodontique (Forsberg et al. 1991; Rosenbloom and Tinanoff 1991)

Un avantage possible des attaches auto-ligaturantes serait une hygiène facilitée grâce à leur forme comportant moins de rétention de plaque possible par rapport aux attaches conventionnelles avec ligatures métalliques et plus encore avec ligatures élastomériques.

3.3.1 Étude montrant une meilleure hygiène avec l'utilisation d'attache auto-ligaturantes

- L'étude Prospective randomisée contrôlée de 2009 par Pellegrini et al :
 - Compare la quantité de plaque dentaire retrouvée autour des attaches auto-ligaturantes In-ovation® et conventionnelles avec ligatures élastomériques.
 - L'étude est faite en *Split-mouth* et la quantité de plaque est mesurée à 1 et 5 semaines après le collage.
 - Les résultats montrent significativement moins de plaque du côté avec les attaches auto-ligaturantes (Pellegrini et al. 2009a, 2009b)

3.3.2 Études ne montrant pas une meilleure hygiène avec l'utilisation d'attache auto-ligaturantes

Cinq autres études prospectives randomisées comparent l'hygiène entre attaches auto-ligaturantes et conventionnelles sans trouver de différences significatives :

- L'étude de Pandis et al et de 2008 :
 - Compare les indices parodontaux (index de plaque gingivale et profondeur de poche) chez 100 patients avec attaches auto-ligaturantes Damon®(50) ou conventionnelles avec ligatures élastomériques(50).
 - Les résultats ne montrent pas de différence significative entre les deux groupes. L'auteur conclut que le type d'attaches utilisées n'a pas d'influence sur les paramètres cliniques parodontaux. (Pandis et al. 2008b)
- Une autre étude de Pandis et al en 2010 :
 - Mesure les streptococcus mutants et le total de bactéries dans la salive chez 32 patients avec attaches auto-ligaturantes In-ovation(16) et attaches conventionnelles avec ligatures élastomériques (16).
 - Les résultats ne montrent pas de différence significative entre les deux groupes. L'auteur conclut que l'utilisation d'attaches auto-ligaturantes ne permet pas de réduire significativement le taux de Streptococcus Mutants. (Pandis et al. 2010a)
- L'étude de Pejda et al en 2012 :
 - Mesure le taux de bactéries du fluide gingival et les paramètres cliniques parodontaux chez 38 patients avec attaches auto-ligaturantes Damon® (19) et attaches conventionnelles avec ligatures métalliques (19).
 - Les résultats montrent un taux significativement plus important d'Actinomyces Actinomycetecomitans dans le groupe avec attaches conventionnelles mais pas de différence significative pour les autres bactéries. L'auteur conclut que le type d'attache auto-ligaturantes ou conventionnelles avec ligatures métalliques ne sem le pas avoir d'influence sur les paramètres parodontaux et bactérien. (Pejda et al. 2012)
- L'étude de Nascimento et al en 2013 :
 - Mesure le taux de Streptococcus mutants sur des attaches auto-ligaturantes

esthétiques Quicklear® (10), Damon3® (10), et conventionnelles esthétiques avec ligatures élastomériques de deux types (20).

- Les résultats montrent plus de bactéries sur les attaches In-ovation® et moins avec les attaches conventionnelles. L'auteur conclut que les attaches auto-ligaturantes esthétiques ne permettent pas une réduction du taux de streptococcus mutans comparés aux attaches conventionnelles. Les différences trouvées semblent être dues à la composition des attaches. (Nascimento et al. 2013)
- Enfin, L'étude de Kaygisiz et al en 2014 :
 - Mesure l'halitose et la santé parodontale chez 60 patients avec attaches auto-ligaturantes (20), attaches conventionnelles avec ligatures métalliques(20) et contrôle sans attaches (20).
 - Les résultats ne montrent pas de différence significative entre les groupes auto-ligaturants et conventionnels. L'auteur conclut que les attaches auto-ligaturantes ne présentent pas d'avantage au niveau de l'halitose et de la santé parodontale comparées aux attaches conventionnelles avec ligatures métalliques. (Kaygisiz et al. 2014)

3.3.3 Synthèse sur l'hygiène avec l'utilisation d'attache auto-ligaturantes

D'après l'ensemble de ces études, on peut conclure :

- qu'il n'y a actuellement pas d'évidence sur la possible influence du type d'attaches sur :
 - La formation et l'adhésion de Streptococcus mutans (Pandis et al. 2010a; Nascimento et al. 2013; Gomes do Nascimento et al. 2014)
 - Le taux de bactérie total(Pandis et al. 2010a; Pejda et al. 2012)
 - La santé parodontale (Pandis et al. 2008b; Pejda et al. 2012; Kaygisiz et al. 2014)
 - L'halitose (Kaygisiz et al. 2014).
- Seule une étude en *split-mouth* trouve significativement moins de plaque dentaire autour des attaches auto-ligaturantes. (Pellegrini et al. 2009b).

3.4 Confort pour le patient

L'hypothèse selon laquelle les traitements avec attaches auto-ligaturantes sont moins douloureux pour le patient est essentiellement basée sur le fait que les forces sont plus faibles. (Graber et al. 2011)

3.4.1 Études montrant un confort amélioré avec l'utilisation d'attaches auto-ligaturantes

Deux études prospectives randomisées comparent la douleur ressentie durant l'alignement initial chez des patients avec attaches conventionnelles et avec attaches auto-ligaturantes Damon® :

- L'étude de Pringle et al en 2009
 - Mesure la douleur 2 fois par jour durant 7 jours suite à la pose du 1^{er} arc .014 inch niti. Sur 66 patients.
 - Les résultats montrent des douleurs significativement plus faibles dans le groupe Damon®. (Pringle et al. 2009)
- L'étude prospective de Tecco et al en 2009 :
 - Mesure la douleur chez 30 patients avec attaches conventionnelles ou Damon® tous les jours durant l'alignement initial.
 - Les résultats montrent des douleurs plus importantes lors de la mastication durant les 3 premiers jours suite à un rendez-vous d'activation dans le groupe Damon® puis les douleurs lors de la mastication s'équilibrent avec le groupe conventionnel. Par contre, les douleurs constantes sont plus faibles et durent moins longtemps avec les attaches Damon®. (Tecco et al. 2009a)

Une étude prospective d'un autre type en 2009 par Yamaguchi et al :

- Mesure la présence d'un marqueur de l'inflammation et médiateur de la transmission de la douleur du fluide gingival d'un côté avec attaches conventionnelles et de l'autre côté avec attaches auto-ligaturantes Damon®.
- Sur 10 patients en *split-mouth*
- Les résultats montrent un taux significativement plus bas du côté Damon®. L'auteur conclue donc que l'utilisation d'attaches auto-ligaturantes peut permettre une réduction de la douleur lors de mouvements dentaires (Yamaguchi et al. 2009).

3.4.2 Études ne montrant pas de douleur réduite avec l'utilisation d'attache auto-ligaturantes

L'étude prospective en *split-mouth* sur 58 patients de Miles et al en 2006 trouve des douleurs moins importantes dans le groupe Damon® lors de la pose du 1^{er} arc .014 inch niti et plus importante lors de la pose du 2^{em} arc .016x.025 niti (Miles et al. 2006)

Trois autres études prospectives comparent la douleur ressentie durant l'alignement initial avec des attaches conventionnelles et des attaches auto-ligaturantes Damon® (Scott et al. 2008b) ou Smartclip® (Fleming et al. 2009 ; O'Dwyer et al. 2015) ne trouvent pas de différence dans le ressenti de la douleur dans les deux groupes.

Deux études de 2009 et 2012 vont également mesurer la douleur ressentie par les patients lors de la pose et la dépose des arcs entre des attaches conventionnelles et des attaches auto-ligaturantes Smartclip®. Les résultats montrent des douleurs plus importantes dans le groupe Smartclip®, en particulier pour les arcs de grosses sections (Fleming et al. 2009c; Bertl et al. 2012) ceci pouvant s'expliquer par la particularité spécifique du système de ligature de l'attache Smartclip® et n'étant donc pas une généralité pour les attaches auto-ligaturantes.

3.4.3 Synthèse sur la douleur ressentie avec l'utilisation d'attaches auto-ligaturantes

D'après l'ensemble de ces études prospectives, il semble que le type d'attache puisse avoir une influence sur la douleur ressentie. Cependant, ce sont surtout les forces exercées sur les dents qui provoquent des douleurs, le type d'attache n'étant que l'un des paramètres pouvant faire varier ces forces.(Graber et al. 2011)

3.5 Temps au fauteuil lors de la pose et dépose des arcs

Le temps gagné au fauteuil lors de la pose et de la dépose des arcs orthodontiques ainsi que le confort d'utilisation des attaches auto-ligaturantes est également un facteur qui prône l'avantage de ce type d'attaches par rapport aux attaches conventionnelles. Il s'agit d'un point à prendre en compte dans la gestion de l'ergonomie du travail au fauteuil.

En effet dans un cabinet d'orthodontie classique, la pose et la dépose concernent une grande partie des rendez-vous. Ainsi, un éventuel gain de temps à chaque séance peut être aisément et intelligemment mis à profit par exemple pour renforcer les mesures d'hygiène, discuter avec l'enfant de la progression de son traitement, améliorer notre communication avec les parents, ou encore prendre plus de patients sur une journée.

L'un des avantages pouvant également être avancé est l'absence de nécessité de l'aide d'une assistante lors de la pose et dépose des arcs, en particulier par rapport aux ligatures métalliques.

(Maijer and Smith 1990; Shivapuja and Berger 1994; Graber et al. 2011; Huang et al. 2011; Le Gall et al. 2014)

Les études sur le temps de pose et de dépose des arcs concernant les attaches auto-ligaturantes ne sont pas les plus courantes, cependant les 8 études sélectionnées montrent un gain de temps significatif au fauteuil en faveur des attaches auto-ligaturantes. Ce gain de temps serait le plus important avec les attaches Speed® et le moins important avec les attaches Damon® d'après l'étude de Berger en 2001 (Berger and Byloff 2001), (Eliades and Pandis 2009a). Cependant, depuis cette date, le système d'attache, en particulier, l'ouverture de l'attache Damon a subi de nombreuses améliorations.

3.5.1 Comparaison avec les ligatures métalliques

Les études comparant la pose et la dépose d'arc entre attaches auto-ligaturantes et attaches conventionnelles avec ligatures métalliques montrent un net gain de temps en faveur des attaches auto-ligaturantes. Ces études sont pourtant faites avec une assistance au fauteuil pour le groupe ligatures métalliques et sans assistance au fauteuil pour le groupe attaches auto-ligaturantes. (figure 69) (Shivapuja and Berger 1994; Berger and Byloff 2001; Paduano et al. 2008; Le Gall et al. 2014)

L'étude de Le Gall, en 2014, mesure également le gain de temps entre l'attache Innovation® et une attache conventionnelle avec ligatures métalliques et sans assistance, le gain de temps est alors encore augmenté avec 40 secondes de moins par arcade par rapport aux ligatures métalliques avec aide opératoire. (Le Gall et al. 2014)

Comparativement aux attaches conventionnelles avec ligatures métalliques, les attaches auto-ligurantes permettent donc un gain de temps important, représentant environ 4min par arcade. Si on fait la moyenne des différentes études, soit 8 min chez un patient nécessitant un changement d'arc aux 2 arcades, avec en plus, la li é ration du temps de l'aide opératoire pendant l'acte de pose de l'arc (environ 10min). (Shivapuja and Berger 1994; Berger and Byloff 2001; Paduano et al. 2008; Graber et al. 2011; Huang et al. 2011; Le Gall et al. 2014)

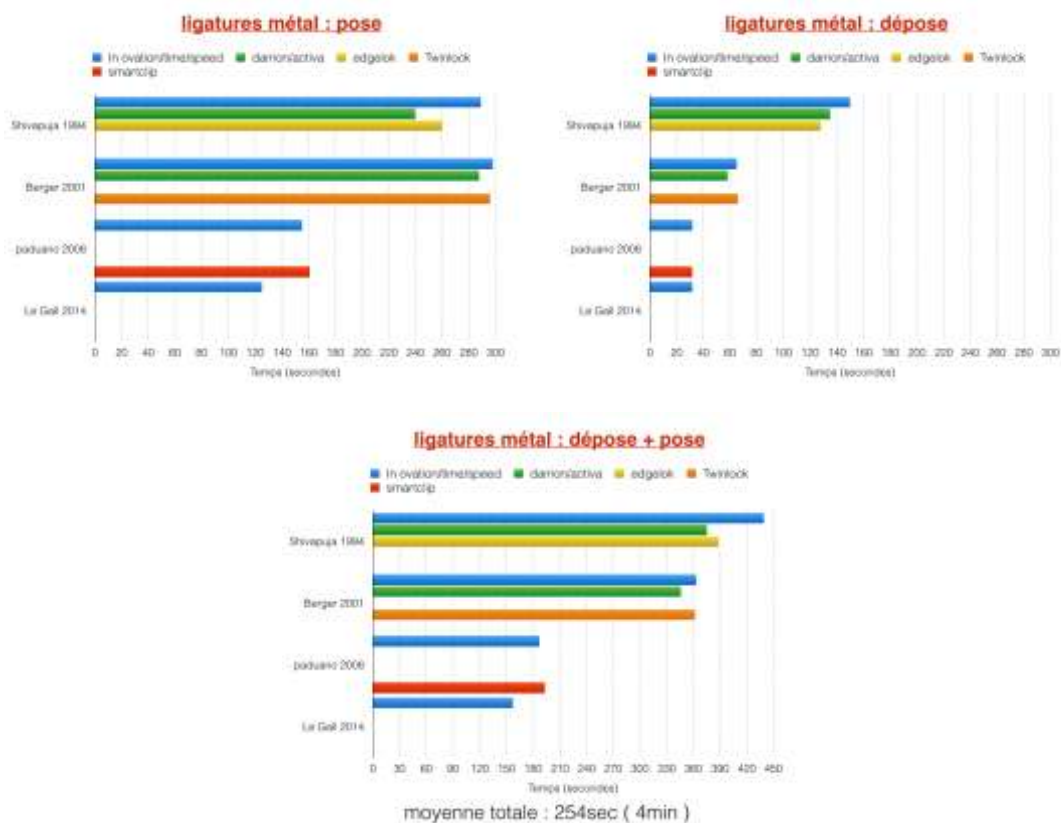


Figure 69 : gain de temps lors mise en place des ligatures métalliques : lors de la pose(A), lors de la dépose (B)et lors de la dépose + pose (C). D'après les études de Shivapuja en 1994, Berger en 2001, Paduano en 2008, et Le Gall en 2014. (illustration personnelle)

3.5.2 Comparaison avec les ligatures élastomériques

Les études comparant le temps de pose et dépose d'arc entre attaches auto-ligurantes et attaches conventionnelles avec ligatures élastomériques montrent quant à elles un gain de temps en faveur des attaches auto-ligurantes, mais ce gain de temps est très réduit, inexistant voir négatif lors de la dépose des attaches, alors qu'il existe mais reste faible lors de la pose des arcs. Ces études sont quant à elles réalisées sans aide opératoire au fauteuil.

Au total, le gain de temps avec les attaches auto-ligaturantes serait de 1minute par arcade, soit 2 minutes par patient nécessitant un changement d'arc aux deux arcades, sans l'évaluation de temps supplémentaire pour l'aide opératoire. (Figure 70)

L'étude de Majier, en 1990, est réalisée avec deux opérateurs, (assistant) l'un entraîné avec la technique conventionnelle, et l'autre habitué à la technique auto-ligaturante. On peut remarquer une chose intéressante : lorsque les rôles sont inversés, pour les attaches auto-ligaturantes, les deux opérateurs prennent à peu près le même temps à la pose et la dépose, alors que pour les attaches conventionnelles, l'opérateur non habitué prend bien plus de temps, surtout à la pose des attaches que l'opérateur habitué. On peut donc en conclure qu'il est plus facile d'apprendre à ligaturer des attaches auto-ligaturantes que des conventionnelles. (Majier and Smith 1990; Shivapuja and Berger 1994; Berger and Byloff 2001; Turnbull and Birnie 2007; Paduano et al. 2008; Harradine 2013a; Le Gall et al. 2014)

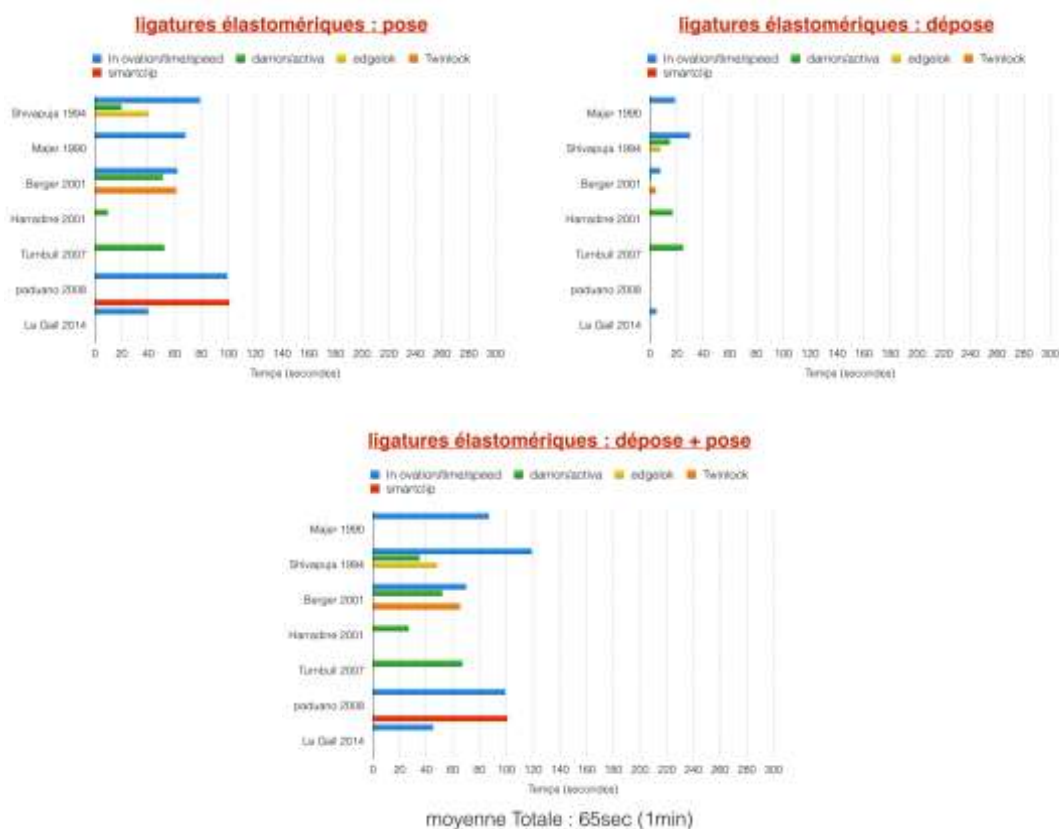


Figure 70 : temps de mise en place des ligatures élastomériques : lors de la pose(A),lors de la dépose (B) et lors de la dépose + pose (C). D'après les études de Shuvapuja en 1994, Major en 1990, Berger en 2001, Harradine en 2001, Turnbull en 2007, Paduano en 2008 et Le Gall en 2014. (illustration personnelle)

3.5.3 Synthèse : Temps au fauteuil

Les études sur le temps de pose et de dépose des arcs concernant les attaches auto-ligaturantes ne sont pas les plus courantes, cependant les 7 études sélectionnées montrent un gain de temps significatif au fauteuil en faveur des attaches auto-ligaturantes en particulier en comparaison avec les ligatures métalliques et un gain de temps significatif mais moindre en comparaison aux ligatures élastomériques. Globalement, l'utilisation d'attaches auto-ligaturantes divise le temps de ligature par deux (Eliades and Pandis 2009a)

Si on compare les attaches auto-ligaturantes aux attaches conventionnelles avec ligatures métalliques qui produisent, elles aussi une friction faible et un maintien sécurisé de l'arc, il faut donc prendre en compte que la mise en place de ces ligatures, dans un cabinet de taille moyenne avec 50 patients par jour dont la moitié nécessite un changement d'arc aux 2 arcades, le temps gagné avec les attaches auto-ligaturantes sera de 3 heures pour l'orthodontiste et 4h pour l'assistante. Ce temps pourrait être utilisé de toute autre manière. (Figure 71)(Graber et al. 2011; Le Gall et al. 2014)

La plupart de ces études étant faites aux États-Unis, il semble important ici de rappeler que contrairement aux États-Unis, il est interdit en France de faire changer les arcs orthodontiques par les assistantes dentaires. C'est donc le praticien qui profite directement de ce gain de temps.

ligatures métal (M) et élastomérique (E) : dépose + pose

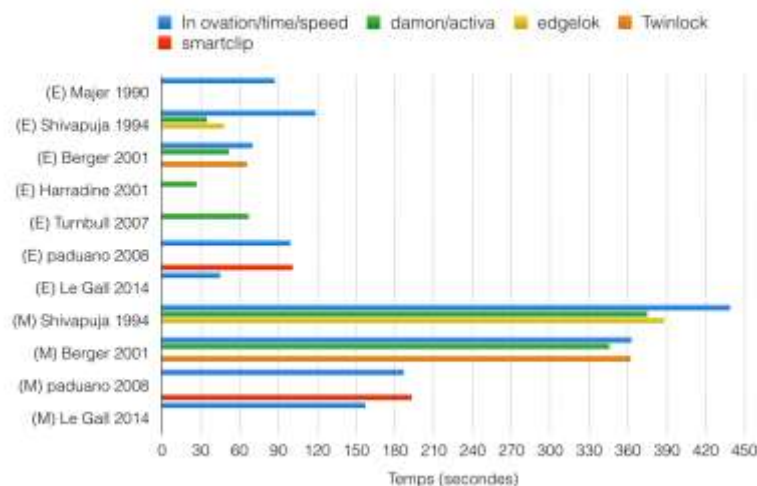


Figure 71 : synthèse du temps de dépose + pose avec les ligatures métalliques (M) et élastomériques (E).
(illustration personnelle)

4 Conclusion

Ce travail montre que:

- Le frottement classique in vitro est :
 - Réduit avec l'utilisation d'attaches auto-ligaturantes passives.
 - Intermédiaire et équivalent entre des attaches auto-ligaturantes actives et conventionnelles avec ligatures métalliques.
 - Augmenté avec les attaches conventionnelles munies de ligatures élastomériques.
- Le frottement avec angulation (*binding*) est :
 - Équivalent, quel que soit le type d'attache et le type de ligatures avec une angulation importante.
 - Ce qui explique l'efficacité équivalente des attaches auto-ligaturantes et des attaches conventionnelles lors de la rétraction canine.
- Le contrôle tridimensionnel :
 - D'après les études in-vitro est :
 - Réduit avec l'utilisation d'attaches auto-ligaturantes passives
 - Intermédiaire avec les attaches auto-ligaturantes actives et conventionnelles avec ligatures métalliques ou élastomériques.
 - Cependant, aucune étude in vivo ne confirme cette hypothèse.
- Le temps de traitement total, le nombre de rendez vous, le temps nécessaire à l'alignement initial et la fermeture d'espace d'extraction ne semblent pas être influencés par le type d'attache.
- La douleur ressentie par le patient dépend surtout des forces transmises aux dents, le type d'attache n'étant que l'un des paramètres pouvant faire varier ces forces.
- Il n'y a actuellement pas de preuve de l'influence du type d'attache sur la formation de plaque dentaire, la santé parodontale ou sur l'halitose.
- Il existe un gain de temps au fauteuil significatif en faveur des attaches auto-ligaturantes par rapport aux attaches conventionnelles avec ligatures métalliques. Ce gain de temps est plus fait avec l'utilisation de ligatures élastomériques.

L'utilisation des attaches auto-ligaturantes en orthodontie est plus un choix de confort d'utilisation qu'un choix qui permet d'améliorer de manière significative l'efficacité du traitement orthodontique.

Bibliographie

1. 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 Jul;148(1):67–75.
2. Articulo LC, Kusy RP. Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1999 Jan;115(1):39–51.
3. Atik E, Ciğer S. An assessment of conventional and self-ligating brackets in Class I maxillary constriction patients. *Angle Orthod*. 2014 Jan 14;84(4):615–22.
4. Badawi HM, Toogood RW, Carey JPR, Heo G, Major PW. Torque expression of self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008 May;133(5):721–8.
5. Ben Rejeb Jdir, Jdir SBR, Tobji S, Turki W, Dallel I, Khedher N, et al. Brackets et frottement en orthodontie : étude expérimentale. *Orthod Fr*. 2015;86(3):10.
6. Berger J. Self-Ligation in the Year 2000. *J Clin Orthod JCO*. 2000;34(2):74-81
7. Berger J, Byloff FK. The clinical efficiency of self-ligated brackets. *J Clin Orthod JCO*. 2001 May;35(5):304–8.
8. Berger JL. The influence of the SPEED bracket's self-ligating design on force levels in tooth movement: A comparative in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1990 Mar;97(3):219–28.
9. 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 Jul 24;83(2):292–7.
10. Boileau M-J. *Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte: Tome 1, Principes et moyens thérapeutiques*. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2011.
11. Bourauel C. Bloméchanical characteristics of self-ligating bracket system [Internet]. AAO Annual session; 2009 [cited 2015 Aug 9]. Available from: <https://www.aoinfo.org/>
12. Brauchli LM, Senn C, Wichelhaus A. Active and passive self-ligation—a myth? *Angle Orthod*. 2011a Jan 5;81(2):312–8.
13. Brauchli LM, Steineck M, Wichelhaus A. Active and passive self-ligation: a myth? Part 1: torque control. *Angle Orthod*. 2011b Nov 7;82(4):663–9.
14. Brown P, Wagner W, Choi H. Orthodontic bracket slot dimensions as measured from entire bracket series. *Angle Orthod*. 2014 Sep 29;85(4):678–82.

15. Burrow SJ. Friction and resistance to sliding in orthodontics: A critical review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 Apr;135(4):442–7.
16. Burrow SJ. Canine retraction rate with self-ligating brackets vs conventional edgewise brackets. *Angle Orthod.* 2010 May 28;80(4):626–33.
17. Burstone CJ, Choy K. *The Biomechanical Foundation of Clinical Orthodontics.* Chicago: Quintessence publishing; 2015.
18. Burstone CJ. Increasing Efficiency by Eliminating Undersirable Side Effects. AAO Annual session; 2008 May 16-20; Denver (CO), United States.
19. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Ricciardi A, Scribante A, Klersy C, Auricchio F. Evaluation of friction of stainless steel and esthetic self-ligating brackets in various bracket-archwire combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003 Oct;124(4):395–402.
20. Cash AC, Good, Curtis, McDonald. An Evaluation of Slot Size in Orthodontic Brackets—Are Standards as Expected? *Angle Orthod.* 2004 Aug 1;74(4):450–3.
21. Cattaneo P, Treccani M, Carlsson K, Thorgeirsson T, Myrda A, Cevitanes L, 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 Nov 1;14(4):222–33.
22. Celikoglu M, Bayram M, Nur M, Kilic 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 Mar;45(2):89–94.
23. Chen SS-H, Greenlee GM, Kim J-E, Smith CL, Huang GJ. Systematic review of self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010 Jun;137(6):726.e1–726.e18.
24. da Costa Monini A, Júnior LGG, Martins RP, Vianna AP. Canine retraction and anchorage loss: Self-ligating versus conventional brackets in a randomized split-mouth study. *Angle Orthod.* 2014 Mar 4;84(5):846–52.
25. Cuinet M, Guivarch J, Huet AP, Morgon L. La friction. *Orthod Fr.* 2001 Sep;72(3):261–70.
26. Dalstra M, Eriksen H, Bergamini C, Melsen B. Actual versus theoretical torsional play in conventional and self-ligating bracket systems. *J Orthod.* 2015 Jun;42(2):103-13.
27. Damon D. *Damon System the workbook.* Ormco corporation; 2003.

28. Damon DH. The Damon low-friction bracket: a biologically compatible straight-wire system. *J Clin Orthod JCO*. 1998a Nov;32(11):670–80.
29. Damon DH. The rationale, evolution and clinical application of the self-ligating bracket. *Clin Orthod Res*. 1998b Aug;1(1):52–61.
30. 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 Feb;139(2):e111–6.
31. Drescher D, Bourauel C, Schumacher H-A. Frictional forces between bracket and arch wire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1989 Nov;96(5):397–404.
32. Eberting JJ, Straja SR, Tuncay OC. Treatment time, outcome, and patient satisfaction comparisons of Damon and conventional brackets. *Clin Orthod Res*. 2001 Nov;4(4):228–34.
33. Ehsani S, Mandich M-A, El-Bialy TH, Flores-Mir C. Frictional Resistance in Self-Ligating Orthodontic Brackets and Conventionally Ligated Brackets. *Angle Orthod*. 2009 May 1;79(3):592–601.
34. Eliades T, Pandis N. *Self-Ligation in Orthodontics*. Chichester: John Wiley & Sons; 2009a.
35. Eliades T, Pandis N. *Self-Ligation in Orthodontics*. Chichester: John Wiley & Sons; 2009b.
36. Fleming P, O'Brien K. Les brackets auto-ligaturants améliorent-ils l'efficacité du traitement orthodontique ? : Une étude systématique basée sur la preuve. *Rev Orthop Dento-Fac*. 2013 Jul;47(3):251–60.
37. Fleming PS, DiBiase AT, Lee RT. Self-ligating appliances: evolution or revolution? *Aust Orthod J*. 2008 May;24(1):41–9.
38. Fleming PS, DiBiase AT, Lee RT. Randomized clinical trial of orthodontic treatment efficiency with self-ligating and conventional fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010 Jun;137(6):738–42.
39. 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 Dentofacial Orthop*. 2009a Sep;136(3):340–7.
40. Fleming PS, DiBiase AT, Sarri G, Lee RT. Efficiency of mandibular arch alignment with 2 preadjusted edgewise appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009b May;135(5):597–602.

41. 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.* 2009c Jan 1;79(1):46–50.
42. 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 Oct;13(5):416–20.
43. 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 Dentofacial Orthop.* 2008 Jan;133(1):87–90.
44. Gioka C, Eliades T. Materials-induced variation in the torque expression of preadjusted appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 Mar;125(3):323–8.
45. Gomes do Nascimento LEA, Gomes de Souza MM, Pontes Azevedo AR, Cople Maia L. Are self-ligating brackets related to less formation of *Streptococcus mutans* colonies? A systematic review. *Dent Press J Orthod.* 2014 Feb 1;19(1):60–8.
46. Graber LW, Jr RLV, Vig KWL. *Orthodontics: Current Principles and Techniques.* Philadelphia. Fifth edition. Elsevier Health Sciences; 2011.
47. Griffiths HS, Sherriff M, Ireland AJ. Resistance to sliding with 3 types of elastomeric modules. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 Jun;127(6):670–5.
48. Hain M, Dhopatkar A, Rock P. The effect of ligation method on friction in sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003 Apr;123(4):416–22.
49. Hamilton R, Goonewardene MS, Murray K. Comparison of active self-ligating brackets and conventional pre-adjusted brackets. *Aust Orthod J.* 2008 Nov;24(2):102–9.
50. Harradine N. Les brackets auto-ligaturants améliorent l'efficacité du traitement. *Rev Orthop Dento-Fac.* 2013a Jul;47(3):261–9.
51. Harradine N. Self-ligating brackets increase treatment efficiency. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013b Jan;143(1):10–8.
52. Harradine NW. Self-ligating brackets and treatment efficiency. *Clin Orthod Res.* 2001 Nov;4(4):220–7.
53. Harradine NWT. Self-ligating brackets: where are we now? *J Orthod.* 2003 Sep;30(3):262–73.
54. Henao SP, Kusy RP. Frictional Evaluations of Dental Typodont Models Using Four Self-ligating Designs and a Conventional Design. *Angle Orthod.* 2005 Jan 1;75(1):75–85.

55. Huang GJ, Richmond S, Vig KWL. Evidence-Based Orthodontics. Chichester, first edition: John Wiley & Sons; 2011.
56. 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 Oct 1;34(5):625–32.
57. 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 Dentofacial Orthop*. 2009 Nov;136(5):638–43.
58. Iwasaki LR, Beatty MW, Nickel JC. Friction and orthodontic mechanics: clinical studies of moment and ligation effects. *Semin Orthod*. 2003 Dec;9(4):290–7.
59. 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;10:2.
60. Jiang R, Fu M. [Non-extraction treatment with self-ligating and conventional brackets]. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi Zhonghua Kouqiang Yixue Zazhi Chin J Stomatol*. 2008 Aug;43(8):459–63.
61. Johansson K, Lundström F. Orthodontic treatment efficiency with self-ligating and conventional edgewise twin brackets. *Angle Orthod*. 2012 Mar 7;82(5):929–34.
62. Kapur R, Sinha PK, Nanda RS. Frictional resistance of the Damon SL bracket. *J Clin Orthod JCO*. 1998 Aug;32(8):485–9.
63. 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*. 2014 Aug 7;85(3):468–73.
64. Khambay B, Millett D, McHugh S. Evaluation of methods of archwire ligation on frictional resistance. *Eur J Orthod*. 2004;26(3):327–32.
65. Koenig HA, Burstone CJ. Force systems from an ideal arch — large deflection considerations. *Angle Orthod*. 1989 Mar 1;59(1):11–6.
66. Lam TV, Freer TJ, Brockhurst PJ, Podlich HM. Strength decay of orthodontic elastomeric ligatures. *J Orthod*. 2002 Mar;29(1):37–43.
67. Lee SM, Hwang C-J. 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 Jan;45(1):13–9.
68. Le Gall M, Bachet C, Dameron C. Temps de mise en œuvre d'un arc orthodontique. Influence du matériel. *Int Orthod*. 2014 Dec;12(4):431–42.

69. Ludwig B, Bister D. Self-ligating Brackets in Orthodontics: Current Concepts and Techniques. New York. first edition: Thieme; 2011.
70. Machibya FM, Bao X, Zhao L, Hu M. Treatment time, outcome, and anchorage loss comparisons of self-ligating and conventional brackets. *Angle Orthod.* 2012 Aug 17;83(2):280–5.
71. Maijer R, Smith DC. Time savings with self-ligating brackets. *J Clin Orthod JCO.* 1990 Jan;24(1):29–31.
72. Meeran NA. Self-ligating brackets: an update. *J Clin Orthod JCO.* 2012 Apr;46(4):235–41.
73. 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 Apr 1;34(2):176–81.
74. Mezomo M, de Lima ES, de Menezes LM, Weissheimer A, Allgayer S. Maxillary canine retraction with self-ligating and conventional brackets. *Angle Orthod.* 2011 Jan 5;81(2):292–7.
75. Miles PG. SmartClip versus conventional twin brackets for initial alignment: is there a difference? *Aust Orthod J.* 2005 Nov;21(2):123–7.
76. Miles PG. Self-ligating vs conventional twin brackets during en-masse space closure with sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 Aug;132(2):223–5.
77. Miles PG. Self-ligating brackets in orthodontics: do they deliver what they claim? *Aust Dent J.* 2009 Mar;54(1):9–11.
78. Miles PG, Weyant RJ, Rustveld L. A clinical trial of Damon 2 vs conventional twin brackets during initial alignment. *Angle Orthod.* 2006 May;76(3):480–5.
79. Montasser MA, Keilig L, Bourauel C. An in vitro study into the efficacy of complex tooth alignment with conventional and self-ligating brackets. *Orthod Craniofac Res.* 2015a Feb;18(1):33–42.
80. Montasser MA, Keilig L, El-Bialy T, Reimann S, Jäger A, Bourauel C. Effect of archwire cross-section changes on force levels during complex tooth alignment with conventional and self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015b Apr;147(4, Supplement):S101–8.
81. Moore JC, Waters NE. Factors affecting tooth movement in sliding mechanics. *Eur J Orthod.* 1993 Jun;15(3):235–41.

82. Morina E, Eliades T, Pandis N, Jager A, Bourauel C. Torque expression of self-ligating brackets compared with conventional metallic, ceramic, and plastic brackets. *Eur J Orthod*. 2008 Jun 1;30(3):233–8.
83. Muguruma T, Iijima M, Brantley WA, Ahluwalia KS, Kohda N, Mizoguchi I. Effects of third-order torque on frictional force of self-ligating brackets. *Angle Orthod*. 2014 Apr 16;84(6):1054–61.
84. Nascimento LEAG do, Pithon MM, dos Santos RL, Ayres Freitas AO, Sales Alviano D, Nojima LI, et al. Colonization of *Streptococcus mutans* on esthetic brackets: Self-ligating vs conventional. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2013 Apr;143(4):S72–7.
85. NOURRY B. Le système Damon. *International orthodontics*. 2006 ; 4 : 369-386
86. 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* [Internet]. 2015 Apr 8 [cited 2015 Jun 1]; Available from: <http://www.angle.org/doi/abs/10.2319/112414837.1>
87. 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 Aug;138(2):138.e1–138.e7.
88. Opin G. Multiple Advantages of Self-ligation: Why and How You Should Incorporate Them into Your Office. AAO Annual session; 2009 May 01-05; Boston (MA), United States.
89. Oz AA, Arici N, Arici S. The clinical and laboratory effects of bracket type during canine distalization with sliding mechanics. *Angle Orthod*. 2011 Aug 29;82(2):326–32.
90. Paduano S, Cioffi I, Iodice G, Rapuano A, Silva R. Time efficiency of self-ligating vs conventional brackets in orthodontics: effect of appliances and ligating systems. *Prog Orthod*. 2008;9(2):74–80.
91. Pandis N, Eliades T, Bourauel C. Comparative assessment of forces generated during simulated alignment with self-ligating and conventional brackets. *Eur J Orthod*. 2009 Dec 1;31(6):590–5.
92. Pandis N, Nasika M, Polychronopoulou A, Eliades T. External apical root resorption in patients treated with conventional and self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008a Nov;134(5):646–51.

93. 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*. 2010a Feb 1;32(1):94–9.
94. 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 Dentofacial Orthop*. 2007 Aug;132(2):208–15.
95. 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 Dentofacial Orthop*. 2010b Jan;137(1):12.e1–12.e6.
96. 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 Sep;140(3):e99–105.
97. 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*. 2010c Jun 1;32(3):248–53.
98. Pandis N, Strigou S, Eliades T. Maxillary incisor torque with conventional and self-ligating brackets: a prospective clinical trial. *Orthod Craniofac Res*. 2006 Nov 1;9(4):193–8.
99. 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*. 2008b Nov 1;11(4):211–5.
100. 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 Jul 3;83(1):133–9.
101. Pellegrini P, Sauerwein R, Finlayson T, McLeod J, Covell Jr. DA, Maier T, et al. Editor's Summary, Q & A, Reviewer's Critique: 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*. 2009a Apr;135(4):426–7.

102. Pellegrini P, Sauerwein R, Finlayson T, McLeod J, Covell Jr. 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.* 2009b Apr;135(4):426.e1–426.e9.
103. Petersen A, Rosenstein S, Kim KB, Israel H. Force Decay of Elastomeric Ligatures: Influence on Unloading Force Compared to Self-Ligation. *Angle Orthod.* 2009 Jul 20;79(5):934–8.
104. Pizzoni L. Frictional forces related to self-ligating brackets. *Eur J Orthod.* 1998 Jun 1;20(3):283–91.
105. Pliska BT, Fuchs RW, Beyer JP, Larson BE. Effect of applied moment on resistance to sliding among esthetic self-ligating brackets. *Angle Orthod.* 2013 Jul 16;84(1):134–9.
106. Pringle AM, Petrie A, Cunningham SJ, McKnight M. Prospective randomized clinical trial to compare pain levels associated with 2 orthodontic fixed bracket systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 Aug;136(2):160–7.
107. 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 Dec 1;30(6):654–60.
108. 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 Dentofacial Orthop.* 2010 Sep;138(3):330–8.
109. Rosenbloom RG, Tinanoff N. Salivary *Streptococcus mutans* levels in patients before, during, and after orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 1991 Jul;100(1):35–7.
110. Sameshima ?. Root resorption, Less risk with new techniques and technologies ? AAO Annual session; 2009 May 01-05; Boston (MA), United States.
111. 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 Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2008a Oct;134(4):470.e1–8.
112. 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.* 2008b Jun 1;30(3):227–32.

113. Serra Guimarães G, Siqueira de Morais L, Gomes de Souza MM, Elias CN. Superficial morphology and mechanical properties of in vivo aged orthodontic ligatures. *Dent Press J Orthod*. 2013 Jun 5;18(3):107–12.
114. Shivapuja PK, Berger J. A comparative study of conventional ligation and self-ligation bracket systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1994 Nov;106(5):472–80.
115. Skidmore KJ, Brook KJ, Thomson WM, Harding WJ. Factors influencing treatment time in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006 Feb;129(2):230–8.
116. Songra G, Clover M, Attack 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 May;145(5):569–78.
117. 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 Oct;138(4):463–7.
118. Tecco S, D’Attilio M, Tete S, Festa F. Prevalence and type of pain during conventional and self-ligating orthodontic treatment. *Eur J Orthod*. 2009a Aug 1;31(4):380–4.
119. Tecco S, Festa F, Caputi S, Traini T, Di Iorio D, D’Attilio M. Friction of Conventional and Self-Ligating Brackets Using a 10 Bracket Model. *Angle Orthod*. 2005 Nov 1;75(6):1041–5.
120. Tecco S, Tetè S, Perillo L, Chimenti C, Festa F. Maxillary Arch Width Changes During Orthodontic Treatment with Fixed Self-Ligating and Traditional Straight-Wire Appliances. *World J Orthod*. 2009b Dec;10(4):290–4.
121. Therman G, Morgon L, Godeneche J. Étude sur le frottement : les oïtiers auto-ligaturants. *Orthod Fr*. 2008 Dec;79(4):239–49.
122. 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 Oct;20(5):589–96.
123. Thorstenson GA, Kusy RP. Resistance to sliding of self-ligating brackets versus conventional stainless steel twin brackets with second-order angulation in the dry and wet (saliva) states. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2001 Oct;120(4):361–70.

124. 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 Dentofacial Orthop.* 2002 May;121(5):472–82.
125. Turnbull NR, Birnie DJ. Treatment efficiency of conventional vs self-ligating brackets: Effects of archwire size and material. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 Mar;131(3):395–9.
126. Wright N, Modarai F, Cobourne MT, DiBiase AT. Do you do Damon®? What is the current evidence base underlying the philosophy of this appliance system? *J Orthod.* 2011 Sep;38(3):222–30.
127. Yamaguchi M, Takizawa T, Nakajima R, Imamura R, Kasai K. The Damon System and Release of Substance P in Gingival Crevicular Fluid During Orthodontic Tooth Movement in Adults. *World J Orthod.* 2009 Jun;10(2):141–6.

Liste des Figures

Figure 1 : attache auto-ligaturante	1
Figure 2: attache de Russel, source : (BERGER 2000).....	3
Figure 3: (A) Attache de Ford, (B) Attache de Boyd, source : (Ludwig and Bister 2011)	3
Figure 4: attache Edgelock®, source : (BERGER 2000)	4
Figure 5: attache MobliLock®, source : (BERGER 2000)	4
Figure 6: Attache Speed®, source : (BERGER 2000)	4
Figure 7: Attache Activa®, source : (BERGER 2000)	5
Figure 8: Attache Time®, source : (http://www.novadent.at/)	5
Figure 9: Attache In ovation®, source : (Ludwig and Bister 2011)	5
Figure 10: Attache TwinLock®, source (BERGER 2000).....	5
Figure 11: Attache Damon SL®, source : (BERGER 2000).....	6
Figure 12: Attache Opal®, source: (http://www.archwired.com/)	6
Figure 13: Attache Smartclip®, source : (Ludwig and Bister 2011).....	6
Figure 14: source Quick®	6
Figure 15: Attache Carriere®, source : (http://carrieresystem.com/).....	6
Figure 16: Attache Discovery SL®, source: (http://www.dentaurum.de/)	7
Figure 17: Attache Lotus®, source : (http://www.orthotechnology.com/)	7
Figure 18: attache Em-power®, source : http://www.americanortho.com/fr/	7
Figure 19 : (A) Mécanisme de glissière à direction verticale Flexible de l'attache Speed® et (B) mécanisme de glissière verticale rigide de l'attache Damon 3®, isource (BERGER 2000)	10
Figure 20 : Mécanisme par clips ou agrafes de l'attache Smartclip®, source (Ludwig and Bister 2011)	10
Figure 21: Mécanisme de couvercle de l'attacher Discovery SL®, source : (http://www.dentaurum.de/)	10
Figure 22: système interactif: pour une section en dessous de .017x.025 inch, puis pour une section supérieure, elle devient active l'attache est passive, source : (https://www.dentsply.com).....	11
Figure 23: Attache In-ovation R®, images : (https://www.dentsply.com), source : (Ludwig and Bister 2011)	12
Figure 24: (A,B) Attache In-ovation C® (C) Après 6 mois d'utilisation : le revêtement mat à presque totalement disparu, images : : (https://www.dentsply.com), source : (Ludwig and Bister 2011)	12
Figure 25: système interactif: pour une section en dessous de .017x.025 inch, l'attache est passive, source : (https://www.dentsply.com).....	13
Figure 26 : attache Speed®. source : (Ludwig and Bister 2011), http://www.speedsystem.com	13
Figure 27: (A,B) Attache BioQuick® (C) Outil pour ouverture du système, source (http://www.forestadent.com/), (Ludwig and Bister 2011)	14
Figure 28: évolution de l'attache Empower, historique fourni par le laboratoire American orthodontics	15

Figure 29: attache Empower® : métal (A), Esthétique (B), molaire (C), interactive (D), passive (E). sources : http://www.americanortho.com/ , CHU Nancy	15
Figure 30: code couleur d'identification. source : http://www.americanortho.com/	15
Figure 31: ouverture de l'attache EmPower avec l'outil spécifique et fermeture par pression digitale, source : http://www.americanortho.com/	15
Figure 32: attache Damon Q (A), Damon 3MX (B), Damon 3(C), Damon Clear (D), Damon clear en bouche (E, document CHU Nancy), ouverture du système (F). source: http://www.ormco.com/	17
Figure 33 : attache autoligaturante smartclip® (A), smartclip® en bouche (B), claritySL® en bouche (C), mise en place de l'arc avec l'instrument spécifique (D), dépose de l'arc avec l'instrument spécifique (E). sources : (Ludwig and Bister 2011) , http://solutions.3mfrance.fr/wps/portal/3M/fr_FR/unitek	18
Figure 34: amélioration du clip depuis 2010 avec l'attache smartclip de troisième génération. source : http://solutions.3mfrance.fr/wps/portal/3M/fr_FR/unitek	18
Figure 35 : solide soumis à une force F glissant sur une surface plane d'après Bruhat , source : (Cuinet et al. 2001))	19
Figure 36: courbe d'évolution du frottement en fonction d'une force F d'après Culand (source : (Thermac et al. 2008))	20
Figure 37: CR : centre de résistance de la dent, F : force appliquée sur la dent, d : distance séparant le point d'application du CR, M : Moment. (illustration personnelle)	21
Figure 38 : 4 phases durant la rétraction d'une dent par technique de glissement : phase 0 : initiale, phase 1 : jeux entre l'arc et l'attache donc absence de moment, mouvement de type version incontrôlée, phase 2 : le moment créé par le contact entre l'arc produit un mouvement de type version contrôlée, phase 3 : le contact augmenté entre l'arc et l'attache augmente le moment ce qui produit un mouvement de type translation sur la dent, phase 4 : il n'y a plus de mouvement de glissement de la dent sur l'arc, seul le moment persiste, celui-ci va redresser la dent. (illustration personnelle)	21
Figure 39 : en vue occlusale, les mêmes 4 phases peuvent être considérées lors de la rétraction d'une dent par technique de glissement. (illustration personnelle)	22
Figure 40 : FL : force de ligature qui pousse l'arc dans l'attache (illustration personnelle)	22
Figure 41 : $FE = FA - FF$ avec $FF = FN \times \mu$ (FE : force effective, FA : force appliquée, FF : force de frottement, FN : Force normale, μ : coefficient de frottement) (illustration personnelle)	24
Figure 42: Frottement classique : $FE=FA-FF$ avec $FF=FL \times \mu$ (FE : force effective, FA : force appliquée FF: force de frottement, FL: force de ligature, et μ : coefficient de frottement) (illustration personnelle).	24
Figure 43: FL force de ligature qui pousse l'arc dans la gorge, FB _i : Force de binding lorsque l'arc entre en contact avec la gorge de l'attache (illustration personnelle).	25
Figure 44: frottement avec binding : $FE = FA - FF$ avec $FF = (FL + FB_i) \times \mu$ (FE : force effective, FA : force appliquée FF: force de frottement, FL: force de ligature, F _{bi} : Force de binding et μ : coefficient de frottement) (illustration personnelle)	26
Figure 45 : entaille sur l'arc due au notching. source: (Burrow 2010)	26

Figure 46 : frottement avec Notching : $FE = FA - FF$ avec $FF = (FL + FNo) \times \mu$ (FE : force effective, FA : force appliquée FF: force de frottement, FL: force de ligature, FNo : force de notching et μ : coefficient de frottement) (illustration personnelle).....	27
Figure 47: le frottement classique est toujours présent, à partir d'un certain degré d'angulation, le phénomène de binding apparaît ($RG=FC+Bi$), puis si l'angulation augmente encore, le notching apparaît ($RG=FC+Bi+No$). (illustration personnelle) ...	27
Figure 48: résistance au glissement statique et dynamique dans une situation sans angulation entre l'attache Damon 2® auto-ligaturante passive et deux attaches conventionnelles avec ligatures élastomériques, source : Cacciafesta et al 2003.....	29
Figure 49: résistance au glissement statique en gramme avec les attaches conventionnelles et ligatures métalliques (TMT), conventionnelles avec ligatures élastomériques (TET), Speed® (SPD), Activa® (ACT), conventionnelles céramiques et ligatures métalliques (CMT), conventionnelles céramiques et ligatures élastomériques (CRT), Edgelok®, source (Shivapuja and Berger 1994).....	29
Figure 50: frottement classique sans angulation entre l'attache smartclip®, conventionnelle avec ligature métallique (Std Bkt steel ligs), conventionnelle avec ligature élastomérique (Std Bkt Alastics), damon2®, In-Ovation®, Speed® et Time® de l'étude de thorstenson et Kusy en 2002, source (Burrow 2009).....	30
Figure 51: si la force de rétraction passe par le centre de résistance, la seule composante de la résistance au glissement est le frottement classique (illustration personnelle) ..	32
Figure 52 : lors d'une rétraction en masse, et en l'absence d'effet parasite, si les dents postérieures sont bien alignées, leur résistance au glissement ne dépend que du frottement classique (illustration personnelle).....	32
Figure 53: malocclusion unitaire, les dents voisines et la dent en malposition sont sujettes au binding et au frottement classique, par contre si les autres dents sont alignées, leur résistance au glissement ne dépend que du frottement classique. (illustrations personnelles)	33
Figure 54: la dent 44 étant la seule dent en malposition, elle subit du binding ainsi que ces deux voisines sur lesquelles l'arc émet des forces. Par contre toutes les autres dents de l'arcade étant alignées, leur résistance au glissement ne dépend que du frottement classique, qui dépend donc de l'attache et de son système de ligature ; ici attache auto-ligaturante active em-power® en acier, du fil, ici acier tressé coaxiale® en .0155inch et de la salive. Document CHU Nancy	33
Figure 55 : (A) frottement classique lorsque toutes les dents sont alignées, l'arc peut glisser de chaque côté et risque de provoquer une urgence. (B) utilisation de <i>stop</i> pour empêcher l'arc de glisser gauche ou droite. (illustrations personnelles).....	34
Figure 56: les 3 phases lors de du glissement d'une dent sur l'arc phases selon Burrow (illustration personnelle).....	35
Figure 57: toutes les dents non alignées avec l'arc ou sur lesquelles l'arc émet une force sont sujettes au binding en plus du frottement classique.....	37
Figure 58: lors de la rétraction d'une dent par technique de glissement, si la force ne passe pas par le centre de résistance, la résistance au glissement est due à la friction classique ainsi que le binding	37
Figure 59: Arc partiellement engagé (image: CHU Nancy)	38

Figure 60: rigidité du système de fermeture de deux attaches auto-ligaturantes actives avant et après 18 mois d'utilisation , source (Eliades and Pandis 2009b)	39
Figure 61: modélisation des attaches Damon MX® (A), Discovery ®(B) et Speed® (C) pour l'analyse par méthode des éléments finis (source: yue huang et al 2009).....	40
Figure 62: Moment de torque pour les attaches Discovery avec ligatures elastomériques (noir) Discovery avec ligatures métalliques (rouges), Damon MX® (bleu) et Speed® (Vert) avec un arc .018x.025inch en acier. On peut remarquer le jeu de torque plus réduit de l'attache speed et les forces plus faibles pour l'attache speed. (source : Yue Huang et al 2009)	41
Figure 63: moment maximum pour un arc .018x.025 en acier, TMA et NiTi pour les attaches Discovery® avec ligatures élastomériques, Discovery avec ligatures métalliques, Damon MX® et Speed® (source : Yue Huang et al 2009)	41
Figure 64: méta-analyse des études de Jiang 2008, Pandis et Al 2010, Scott et al 2008. On peut voir une proclinaison de l'incisive mandibulaire légèrement plus faible pour le groupe des attaches auto-ligaturantes (Damon® dans ces 3 études), source : (Chen et al 2010).....	42
Figure 65: force en newton exercée sur les différents types d'attaches dans la l'axe X (verticale) pour une incisive latérale déplacée de 2mm en gingivale et 2mm en linguale avec un arc 0.016 inch et 0.014 inch niti. On remarque les forces plus importantes avec les attaches conventionnelles couplées aux ligatures élastomériques. (source : (Montasser et al. 2015b)).....	45
Figure 66: correction maximale en mm avec différents arcs et différentes attaches, on remarque la correction moindre des attaches conventionnelles couplées aux ligatures élastomériques par rapport aux attaches auto-ligaturantes (source : (Montasser et al. 2015a))	45
Figure 67: vitesse de rétraction de la canine du coté auto-ligurant et conventionnel dans les 4 études split-mouth de Mézomo et al 2011, Burrow 2010, Oz et al 2011 et da Costa Monini 2014, source : Mezomo et al 2011.....	49
Figure 68: forme d'arcade Damon®. source (Cattaneo et al. 2011)	50
Figure 69 : gain de temps lors mise en place des ligatures métalliques : lors de la pose(A), lors de la dépose (B)et lors de la dépose + pose (C). D'après les études de Shivapuja en 1994, Berger en 2001, Paduano en 2008, et Le Gall en 2014. (illustration personnelle).....	58
Figure 70 : temps de mise en place des ligatures élastomériques : lors de la pose(A),lors de la dépose (B) et lors de la dépose + pose (C). D'après les études de Shuvapuja en 1994, Major en 1990, Berger en 2001, Harradine en 2001, Turnbull en 2007, Paduano en 2008 et Le Gall en 2014. (illustration personnelle).....	59
Figure 71 : synthèse du temps de dépose + pose avec les ligatures métalliques (M) et élastomériques (E). (illustration personnelle).....	60

Liste des Tableaux

Tableau 1 : historique des attaches auto-ligaturante.....	8
Tableau 2 : différentes études sur le frottement classique, LE : ligature élastomérique, LM : ligature métallique, ALA : auto-ligaturante active, ALP : auto-ligaturante passive	31
Tableau 3 synthèse des 19 études de la revue systématique de Ehsani et Al et 2009. source (Ehsani et al. 2009).....	36
Tableau 4 : récapitulatif des études sur le temps nécessaire l'alignement initial.	48

HUTIN (Matthieu, Bernard, Pierre). – Les attaches auto-ligaturantes vestibulaires : avantages et inconvénients en orthodontie.

Nancy : 2016. 77 pages

Thèse : Chir –Dent : Nancy : 2016

MOTS CLES :

- Brackets orthodontiques
- dispositifs orthodontiques
- friction.

HUTIN (Matthieu, Bernard, Pierre). – **Les attaches auto-ligaturantes vestibulaires : avantages et inconvénients en orthodontie.**

Thèse : Chir. – Dent : Nancy : 2016

Bien que la première attache auto-ligaturante en orthodontie fût inventée en 1930, elles se sont popularisées seulement depuis les années 2000. Avec deux grandes familles d'attaches : les auto-ligaturantes passives et les auto-ligaturantes actives.

L'objectif de ce travail est de réaliser une revue de littérature sur l'utilisation des attaches auto-ligaturantes en orthodontie, de définir les principes des attaches actives et passives et de comparer les forces de frottement, l'efficacité du traitement, le temps gagné au fauteuil et le confort d'utilisation entre les systèmes auto-ligaturants et les systèmes conventionnels.

JURY

<u>Pr. FILLEUL M.P.</u>	Professeur des universités	Président
<u>Dr EGLOFF B.</u>	Maître de conférences	Directeur
<u>Dr CLEMENT C.</u>	Maître de conférences	Juge
<u>Pr RAPIN C.</u>	Professeur des universités	Juge

Adresse de l'auteur :

HUTIN Matthieu
124 ter boulevard Lobau
54000 Nancy

Jury : Président : M-P. FILLEUL – Professeur des Universités
Juges : B. EGLOFF– Maître de Conférence des Universités
C. CLEMENT– Maître de Conférence des Universités
C. RAPIN - Professeur des Universités

Thèse pour obtenir le diplôme D'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Présentée par: Monsieur HUTIN Matthieu, Bernard, Pierre

né(e) à: LILLE (Nord)

le 13 avril 1989

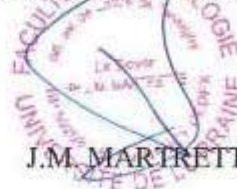
et ayant pour titre : « Les attaches auto-ligaturantes vestibulaires : avantages et inconvénients en orthodontie ».

Le Président du jury



M-P. FILLEUL

Le Doyen
de la Faculté d'Odontologie



J.M. MARTRETTE

Autorise à soutenir et imprimer la thèse 9037

NANCY, le 11 MARS 2016

Le Président de l'Université de Lorraine



P. MUTZENHARDT

