

UNIVERSITE DE NANTES
UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2019

N° 3533

Traitement orthodontique par aligneurs sur parodonte réduit : analyse de la littérature.

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT DE
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée

Et soutenue publiquement par

MEVAERE Audrey

Née le 12 août 1990

Le 21 mars 2019 devant le jury ci-dessous

Président Monsieur le Professeur Assem SOUEIDAN
Assesseur Monsieur le Docteur Marc-Henri NIVET
Assesseur Monsieur le Docteur Edouard LANOISELLE

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Stéphane RENAUDIN
Co-Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Zahi BADRAN

UNIVERSITÉ DE NANTES	
Président	Pr LABOUX Olivier
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE	
Doyen	Pr GIUMELLI Bernard
Assesseurs	Dr RENAUDIN Stéphane Pr SOUEIDAN Assem Pr WEISS Pierre
Professeurs des Universités Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	
Monsieur AMOURIQ Yves Monsieur GIUMELLI Bernard Monsieur LE GUEHENNEC Laurent Monsieur LESCLOUS Philippe Monsieur BADRAN Zahi	Madame ALLIOT-LICHT Brigitte Madame PEREZ Fabienne Monsieur SOUEIDAN Assem Monsieur WEISS Pierre
Professeurs des Universités	
Monsieur BOULER Jean-Michel	
Professeurs Emérites	
Monsieur BOHNE Wolf	Monsieur JEAN Alain
Praticiens Hospitaliers	
Madame DUPAS Cécile (Praticien Hospitalier) Madame LEROUXEL Emmanuelle (Praticien Hospitalier)	Madame HYON Isabelle (Praticien Hospitalier Contractuel) Madame RICHARD Catherine (Praticien Attaché)
Maîtres de Conférences des Universités Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	Assistants Hospitaliers Universitaires des C.S.E.R.D.
Monsieur AMADOR DEL VALLE Gilles Madame ARMENGOL Valérie Madame BLERY Pauline Monsieur BODIC François Madame CLOITRE Alexandra Madame DAJEAN-TRUTAUD Sylvie Madame ENKEL Bénédicte Monsieur GAUDIN Alexis Monsieur HOORNAERT Alain Madame HOUCHMAND-CUNY Madline Madame JORDANA Fabienne Monsieur KIMAKHE Saïd Monsieur LE BARS Pierre Madame LOPEZ-CAZAUX Serena Monsieur NIVET Marc-Henri Madame RENARD Emmanuelle Monsieur RENAUDIN Stéphane Madame ROY Elisabeth Monsieur STRUILLOU Xavier Monsieur VERNER Christian	Monsieur ALLIOT Charles Monsieur AUBEUX Davy Madame BARON Charlotte Madame BEAURAIN-ASQUIER Mathilde Madame BERNARD Cécile Monsieur BOUCHET Xavier Madame BRAY Estelle Monsieur HUGUET Grégoire Monsieur KERIBIN Pierre Madame LE LAUSQUE Julie Madame LEMOINE Sarah Monsieur NEMIROVSKY Hervé Monsieur OUVREARD Pierre Monsieur RÉTHORÉ Gildas Monsieur SARKISSIAN Louis-Emmanuel Madame WOJTIUK Fabienne
Maître de Conférences	
Madame VINATIER Claire	
Enseignants Associés	
Madame LOLAH Aoula (Assistant Associé)	Madame MERAMETDJIAN Laure (MC Associé) Monsieur GUIHARD Pierre (Professeur Associé)

Mise à jour le 05/11/2018

Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le Conseil de 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'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

REMERCIEMENTS

À Monsieur le Professeur Assem SOUEIDAN

Professeur des Universités.

Praticien Hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement et de Recherche Dentaires.

Docteur de l'Université de Nantes.

Habilité à Diriger des Recherches, PEDR.

Chef du Département de Parodontologie.

Référent de l'Université d'Investigation Clinique Odontologie.

- NANTES -

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Pour votre bienveillance et votre sympathie.

Veillez trouver ici l'expression de mon plus grand respect.

À Monsieur le Docteur Stéphane RENAUDIN

Maître de Conférences des Universités.

Praticien Hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement et de Recherche Dentaires.

Chef du Département d'Orthopédie Dento-Faciale.

Vice-Doyen de la Pédagogie.

- NANTES -

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la direction de cette thèse.

Pour partager votre réflexion, vos connaissances et votre expérience.

Veillez recevoir ici l'expression de tout mon respect et de mon estime.

À Monsieur le Professeur Zahi BADRAN

Professeur des Universités,
Praticien Hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement et de Recherche Dentaires.
Docteur de l'Université de Nantes.
Habilité à Diriger des Recherches.
Département de Parodontologie.

- NANTES -

*Pour m'avoir guidée et tenue la main avec modestie dans ce projet.
Pour ta sincérité, ta gentillesse et ton accessibilité.
Je te suis reconnaissante pour le temps que tu as pu m'accorder et tes précieux conseils.
Félicitations Monsieur le Professeur.*

À Monsieur le Docteur Marc-Henri NIVET

Maître de Conférences des Universités.
Praticien Hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement et de Recherche Dentaires.
Département d'Orthopédie Dento-Faciale.

- NANTES –

*Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de participer à ce jury.
Pour votre qualité d'écoute, votre sympathie, vos madeleines et les gâteaux nantais.
Veuillez recevoir ici l'expression de ma sincère reconnaissance.*

À Monsieur le Docteur Edouard LANOISELLE

Docteur en Chirurgie Dentaire,
Ancien Assistant Hospitalo-Universitaire.

- NANTES -

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de rejoindre ce jury de thèse.

Pour ta disponibilité et ta patience.

Merci de m'avoir fait découvrir l'univers orthodontico numérique Monsieur l'ingénieur.

Table des matières

1	Introduction.....	10
2	La maladie parodontale et la prise en charge orthodontique	11
2.1	Généralités	11
2.1.1	L'état de santé parodontal : manifestations cliniques et indices parodontaux.....	11
2.1.2	Epidémiologie des maladies parodontales	17
2.1.3	Classification des maladies parodontales.....	17
2.2	Les Migrations Pathologiques Secondaires (MPS).....	23
2.2.1	Epidémiologie	23
2.2.2	Les différents types de MPS	23
2.2.3	Conséquences des MPS	26
2.3	Traitement orthodontico-parodontal	28
2.3.1	La place de l'orthodontie dans la prise en charge des maladies parodontales	28
2.3.2	Correction orthodontique des Migrations Pathologiques Secondaires	30
2.3.3	Effet d'un appareil orthodontique conventionnel fixe sur la santé parodontale	34
3	L'efficacité des aligneurs	38
3.1	Efficacité des aligneurs dans le contrôle des mouvements dentaires	38
3.1.1	Les mouvements orthodontiques.....	38
3.1.2	Aligneurs	43
3.2	Comparaison des aligneurs <i>versus</i> orthodontie conventionnelle	50
3.2.1	Santé parodontale	50
3.2.2	Efficacité des mouvements dentaires et limites.....	55
3.2.3	Stabilité du traitement et récurrence.....	63
3.2.4	Douleur	63
3.2.5	Esthétique.....	65
3.2.6	Confort.....	66
3.2.7	Rapidité de traitement et temps passé au fauteuil	67
3.2.8	Satisfaction	68
3.3	Traitement des migrations secondaires par aligneurs : étude de cas dans la littérature.	69
4	Cas clinique au CSD	71
5	Conclusion	78
	Index des illustrations	79
	Index des tableaux	81
	Bibliographie.....	82
	Annexes	95

1 Introduction

De nos jours, les relations entre l'orthodontiste et le parodontiste se révèlent essentielles dans la prise en charge des cas d'atteintes sévères du parodonte, leur point commun. Les maladies parodontales concernent la moitié de la population française (17) et les migrations pathologiques dentaires antérieures sont un motif de consultation esthétique en cabinet d'orthodontie. L'orthodontie permet de minimiser le « coût » parodontal en déplaçant les dents avec leurs tissus de soutien. Son objectif est de rétablir un cadre anatomique et occlusofonctionnel favorable à une bonne maintenance parodontale.

Or, les traitements orthodontiques fixes sont de moins en moins acceptés chez les patients adultes. Ils souhaitent un traitement invisible et rapide, compatible avec une société où l'on souhaite réussir nos objectifs rapidement avec le minimum de contraintes possibles. Le traitement par aligneurs semble être un accord entre les besoins esthétiques du patient et une possibilité clinique réelle afin de répondre à la demande de réalignement de « la dent » problématique.

Les traitements par aligneurs sont-ils réalisables chez un patient au parodonte réduit? Quels sont les avantages liés à ces types de traitement ? L'objectif principal de ce travail est de comparer les effets de cette thérapeutique orthodontique sur la santé parodontale, l'efficacité des mouvements dentaires, la stabilité, la douleur, l'esthétique, le confort, le temps passé au fauteuil, la durée totale du traitement et la satisfaction du patient, en comparaison aux appareils fixes conventionnels.

2 La maladie parodontale et la prise en charge orthodontique

2.1 Généralités

2.1.1 L'état de santé parodontal : manifestations cliniques et indices parodontaux

L'organe dentaire représente la dent et son parodonte. Le parodonte est l'ensemble des tissus de soutien de la dent. Le parodonte superficiel regroupe les gencives libre et attachée qui forme la fibromuqueuse gingivale (tissus conjonctif et épithélial). Le parodonte profond regroupe le cément, le ligament alvéolo-dentaire (desmodonte) et l'os alvéolaire (1).

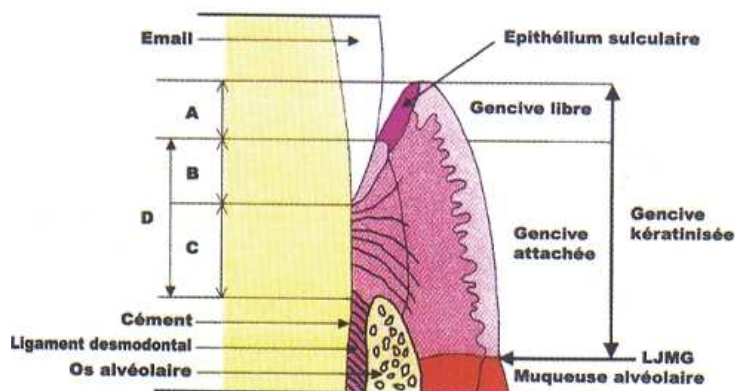


Figure 1 : Schéma du parodonte avec A : Sulcus histologique ; B : Attache épithéliale ; C : Attache conjonctive ; D : Système d'attache (2).

Un parodonte sain ne présente ni inflammation, ni saignement au sondage ; la fibromuqueuse gingivale présente un biseau gingival, une gencive « arrondie », un aspect piqueté en peau d'orange inconstant (dans 40% des cas), la présence d'un espace gingivo-dentaire et d'un sillon gingivo-dentaire non ouvert. Elle est rose corail et ferme. Les papilles interdentaires ont une forme pyramidale et remplissent la totalité des embrasures dentaires lorsqu'il existe un point de contact.

Le desmodonte (ou Ligament Alvéolaire-Dentaire : LAD) a un rôle d'attache, de support de la dent pendant la fonction occlusale, de mobilité physiologique, sensoriel (position de la mandibule dans l'espace), nutritif et réparateur (3). C'est un réseau vasculaire et nerveux, aux caractéristiques visco-élastiques. Il prévient la migration de l'épithélium gingival le long de la

racine. Sa suppression entraîne une ankylose et/ou une résorption radiculaire (4). De plus, il subit un remaniement constant grâce un *turn over* important qui permet l'adaptation aux changements (hyperfonction, hypofonction, migration mésiale). De nombreuses activités de synthèse et de dégradation se déroulent au sein du LAD. Son remodelage est plus important que celui de la gencive, de l'os et de la peau. En effet, le renouvellement du collagène est cinq fois rapide dans le LAD que dans le tissu gingival (5).



Figure 2 : Aspect clinique de la gencive saine (avec la courtoisie du Dr. Clouet).

L'organe dentaire est en rapport intime avec le biofilm (BF) au sein de la cavité buccale. La plaque bactérienne a été découverte par A.V. Leeuwenhoek en 1683 (6). En 1970, la notion de BF a été définie comme la plaque bactérienne adhérente à la surface de la dent, c'est à dire une communauté de micro organismes (structure hétérogène dynamique) qui se renouvelle constamment. Une flore saine est propice à la santé parodontale en présence de bactéries Cocci, peu mobiles, aérobies ou anaérobies facultatifs et de bactéries à Gram positif (*Streptococcus sanguis*, *Streptococcus mitis*, *Veillonella parvula*, *Actinomyces naeslundii*, *Actinomyces viscosus*) (7).

C'est une organisation sophistiquée dynamique non hiérarchisée qui s'adapte en fonction de l'environnement, la réactivité est rapide pour la survie bactérienne. La pathogénicité du BF se définit par sa qualité et non sa quantité et est possible par la notion d'adhérence du BF grâce aux protéines situées en supra-gingival.

Au niveau du sulcus et des poches parodontales, on observe la présence de bactéries mobiles. Il existe une hétérogénéité au sein du BF (variation de pH, O₂...). Parmi les écosystèmes buccaux, celui des surfaces dentaires supra-gingivales est constitué de la pellicule acquise exogène (film organique) qui initie la formation du BF supra gingival

(bactéries adhérentes aux surfaces). Les écosystèmes buccaux sont complexes et évoluent tout au long de la vie selon l'individu. Une rupture d'équilibre au sein de cet écosystème peut faire apparaître des maladies parodontales.

Lors de l'examen clinique du chirurgien-dentiste, plusieurs **indices parodontaux (8)** sont relevés afin de déterminer l'état parodontal selon :

- **L'indice gingival (*Gingival Index GI*) (Loë, 1967) ;**
- **L'indice de plaque (*Plaque Index PI*) ou *PLI : Lower Plaque Index* (Loë et Silness, 1964) (9) :**

Indice gingival GI			
0	1	2	3
Absence de réaction inflammatoire	Absence de saignement au sondage, légère inflammation, légère modification de couleur, faible modification de surface	Saignement au sondage, inflammation modérée, rougeur, gonflement, saignement à la pression	Saignement spontané et/ou présence d'une ulcération gingivale, inflammation, rougeur, gonflement important
Indice de plaque PI			
0	1	2	3
Pas de plaque	Dépôt de plaque invisible mais pouvant être déposé à la curette	Dépôt de plaque couvrant 1/3 cervical	Dépôt de plaque abondant (+1/3 cervical)

Tableau 1 : Tableau récapitulatif de GI et PI.

- **Niveau d'attache clinique (*Clinical Attachment Level CAL*) :**

C'est la distance entre la jonction émail-cément et le fond de l'attache épithélio-conjonctive. Sur un cliché radiologique, une distance de 2 mm sépare le sommet de la crête de la jonction émail-cément (cet espace est occupé par l'attache épithélio-conjonctive).

- **Profondeur de Poche (*Pocket Probing Depth = PPD ou PD*) ou Profondeur sulculaire au sondage (*Sulcus Probing Depth SPD*) :**

C'est la distance entre le bord supérieur de la gencive marginale et les premières cellules de l'épithélium de jonction (sondage n'excédant pas 50g).

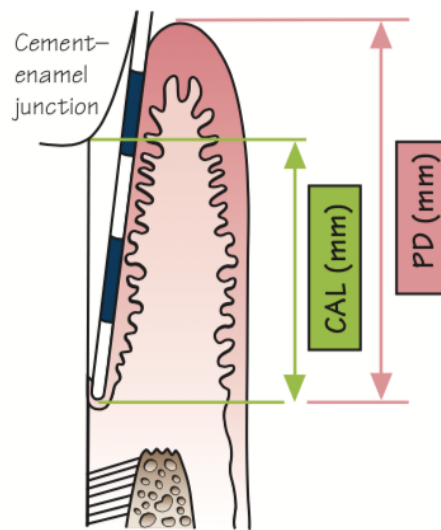


Figure 3 : Schéma des CAL et PD au sondage (10).

Le sondage permet de détecter des lésions intra osseuses masquées en vestibulaire et en palatin ou par l'épaisseur des corticales à la radiographie.

- **Mobilité dentaire**

La mobilité dentaire, variable d'un individu à un autre, peut s'accroître à la suite d'une inflammation parodontale, d'un traumatisme, d'une inflammation péri-apicale ou d'une surcharge occlusale. Les dents sont mobiles au sein de leur articulation grâce au LAD. Leur mobilité physiologique dépend aussi de sa largeur, de sa longueur et de sa qualité :

- 0,02 mm de mobilité verticale ;
- 0,1 mm de mobilité horizontale pour les incisives ;
- 0,04 mm de mobilité horizontale pour les molaires.

La mesure est individuelle avec le périodontomètre. Cliniquement, un mouvement antéro-latéral peut être exercé avec deux instruments et différents degrés de mobilité sont observables selon la :

Classification de Mühleman (11):

- Degré 0 : ankylose ;
- Degré 1 : mobilité physiologique perceptible entre deux doigts ;
- Degré 2 : mobilité transversale visible à l'œil nu inférieure à 1 mm ;
- Degré 3 : mobilité transversale supérieure à 1 mm ;
- Degré 4 : mobilité axiale.

- **Indice de saignement sulculaire (*Sulcus Bleeding Index SBI*) (Mühleman et Son, 1971) ;**
- **Indice de saignement papillaire (Saxer et Mühleman, 1975) ou « *Papillary Bleeding Index* » PBI ;**
- **Récession gingivale** classée selon Miller en 4 classes selon le degré de sévérité.

Classification Miller (1985) (12) :

- Classe I : récession n'atteignant pas la jonction muco-gingivale. Les tissus parodontaux proximaux n'ont subi aucune perte.
 - Classe II : récession atteignant ou dépassant la ligne muco-gingivale. Les tissus parodontaux proximaux n'ont subi aucune perte.
 - Classe III : récession atteignant ou dépassant la ligne muco-gingivale. Les tissus parodontaux proximaux ont subi des lésions interdentaires légères.
 - Classe IV : récession atteignant ou dépassant la ligne muco-gingivale. Les tissus parodontaux proximaux ont subi des lésions interdentaires sévères.
- **Saignement au sondage (*Bleeding On Probing BOP*) :**
 - Score 0 : aucun saignement ;
 - Score 1 : saignement quelques secondes après le sondage ;
 - Score 2 : saignement immédiatement après ;
 - Score 3 : saignement s'étendant vers la gencive marginale.

Le saignement lors du sondage est le meilleur critère de diagnostic de l'inflammation gingivale. L'écoulement sanguin peut se produire 20 à 30 secondes après l'enfoncement de la sonde dans le sulcus. L'observation du saignement ne doit donc pas se faire immédiatement. L'absence de saignement est signe d'un bon état de santé parodontal.

Le diagnostic clinique est complété par la réalisation de radiographies qui permettent d'évaluer le niveau osseux des maxillaires globalement ou individuellement pour chaque dent. A la radiographie, un épaissement de l'espace ligamentaire sans résorption osseuse et sans augmentation de la profondeur de poche est visible si la dent a une mobilité augmentée. Dans le cas d'une dent sans stimulation fonctionnelle, le ligament sera fin voire absent.

Une évaluation quantitative de la perte osseuse en millimètre est peu significative car tout dépend de la longueur des racines. On préfère évaluer un pourcentage par rapport à la taille des racines (10, 20, 30 % etc.) plus significative, dent par dent ou en globalité, selon l'homogénéité de l'alvéolyse au sein de la cavité buccale. L'évaluation qualitative de l'alvéolyse est souvent significative du degré de sévérité de la parodontite. Ainsi, lorsque la ligne de perte osseuse est parallèle aux jonctions amélo-cémentaires, l'alvéolyse sera horizontale (Fig.4 de gauche). Par contre, lorsque cette ligne forme un angle avec les jonctions amélo-cémentaires, ce sera une alvéolyse angulaire (Fig.4 de droite). Les termes de lésions verticales ou intra osseuses sont synonymes de lésions angulaires.

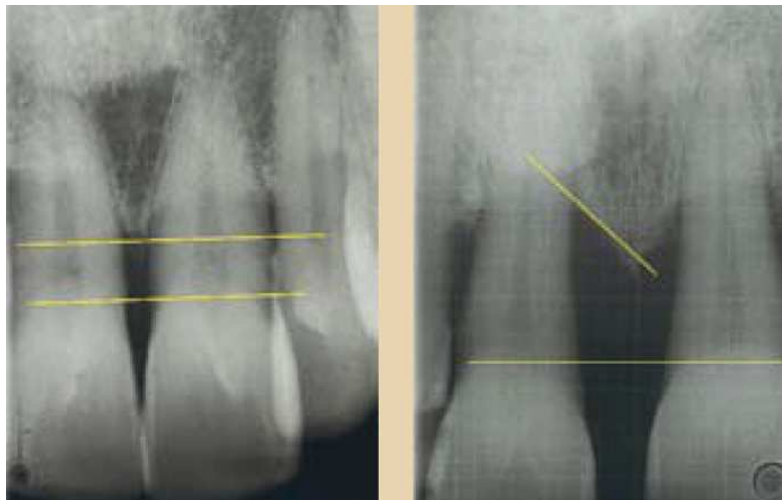


Figure 4 : À gauche, alvéolyse horizontale ; à droite alvéolyse angulaire (13).

La sévérité de l'alvéolyse sera qualifiée de « modérée » si elle est limitée au tiers coronaire sans atteinte des furcations (30 % au maximum), de « sévère » si elle dépasse 30 % ou si les molaires présentent des atteintes des furcations et enfin de « terminale » si l'alvéolyse atteint le tiers apical. L'examen radiographique permet d'analyser la longueur et la forme des racines mais aussi des facteurs aggravants des maladies parodontales (caries, résorptions radiculaire, kystes, obturations débordantes etc..). Des clichés de contrôle permettent de confirmer la stabilisation de la maladie ou son aggravation. Lorsque la radiographie montre que la crête est située à plus de 2mm de la jonction émail/cément, il est rare qu'il n'y ait pas de destructions des tissus parodontaux (3).

2.1.2 Epidémiologie des maladies parodontales

Selon l'OMS, en 1996, seuls 12.5% des 35-44 ans et 16.5% des 65- 74 ans présentaient un parodonte sain (14) (15). Il est donc légitime de penser que de nombreux patients nécessitent des soins parodontaux ou que ces derniers aient des parodontes susceptibles d'être réduits.

En Europe, les atteintes sévères sont rares chez les personnes jeunes, mais après 50 ans, la majorité de la population est confrontée à la parodontite et 15 à 20 % présentent une parodontite sévère (16).

En France, une grande partie de la population présente une maladie parodontale : 87,5% de la population française entre 35 et 44 ans serait concernée d'après une étude ICSII réalisée par l'ADF (Association Dentaire Française) sous l'égide de l'OMS (17). Dans une étude de 2007, 52 % des Français adultes étaient atteints de gingivite chronique et 27 % présentaient une parodontite chronique sévère (18). Cette étude épidémiologique a montré que 46,7% de la population française adulte a au moins une poche parodontale d'une profondeur comprise entre 3,5 et 5,5 mm et 10,2% une poche supérieure à 5,5 mm.

La maladie parodontale constitue donc un véritable problème de santé publique car 10 à 20% de la population présente une parodontite sévère avec perte d'attache (19). La fréquence et la sévérité des parodontites augmentent avec l'âge, avec un pic d'incidence vers 60 ans et selon Albandar & Rams (20), la parodontite chronique intéresserait entre 20 et 50 % des adultes. La parodontite ne s'avère pas la cause principale de la perte des dents chez l'adulte avant 60 ans.

2.1.3 Classification des maladies parodontales

Il existe un parallèle entre l'évolution de nos connaissances des maladies parodontales et celle de leurs classifications. En 1999, l'Académie américaine de parodontologie a organisé un atelier international sur la classification des maladies parodontales (21) (Tableau 2).

Maladies gingivales	
<i>Induites par la plaque dentaire</i>	<i>Non induites par la plaque dentaire</i>
Gingivites associées avec la plaque dentaire uniquement	Maladies gingivales d'origine bactérienne spécifique
Maladies gingivales associées à des facteurs systémiques	Maladies gingivales d'origine virale
Maladies gingivales liées à des médicaments	Maladies gingivales d'origine fongique
Gingivites et malnutrition	Lésions gingivales d'origine génétique
	Gingivites au cours de maladies systémiques
	Lésions traumatiques (factices, iatrogéniques, accidentelles)
	Réactions auto-immunes
	Non spécifiques
Parodontites chroniques, parodontites agressives	Localisées
	Généralisées
Parodontites en tant que manifestations de maladies systémiques	
<i>Associées à une hémopathie</i>	<i>Associées à des anomalies génétiques</i>
Neutropénie acquise	Neutropénie cyclique familiale
Leucémie	Syndrome de Down, trisomie 21
Autres	Syndrome de déficience d'adhésion leucocytaire
	Syndrome de Papillon-Lefèvre
	Syndrome de Chédiak-Higashi
	Histiocytose, glycogénose, hypophosphatasie
	Agranulocytose génétique infantile
	Syndrome de Cohen
	Syndrome d'Ehlers-Danlos (types IV et VII)
Maladies parodontales ulcéronécrotiques	Gingivites ulcéronécrotiques (GUN)
	Parodontites ulcéronécrotiques (PUN)
Abcès parodontaux	Abcès gingival
	Abcès parodontal
	Abcès péricoronaire
Parodontites associées à des lésions endodontiques	
Déformations et affections acquises ou du développement	

Tableau 2 : Classification des maladies parodontales.

La gingivite est une inflammation gingivale localisée au parodonte superficiel. La lésion gingivale inflammatoire est induite ou non par la plaque. L'inflammation est due à une accumulation du biofilm (virulence) et à la sensibilité de l'hôte. La plaque dentaire, selon le protocole expérimental de Loë et Silness sur l'accumulation de biofilm mais réversible, est l'étiologie principale des gingivites. Les bactéries mobiles, filamenteuses, anaérobies et spirochètes sont le signe de cette accumulation ininterrompue du biofilm. La flore microbienne lors d'une gingivite est surtout représentée par les *Streptococcus*, *Actinomyces*, *Fusobacterium nucleatum* et *Prevotella intermedia*. Le flux du fluide crévicaire augmente sans perte d'attache. Une gingivite est soit banale, c'est à dire une réaction naturelle normale de défense locale sans risque de parodontite, soit à risque.



Figure 5 : Inflammation du parodonte superficiel (rougeur, œdème et saignement).

La maladie parodontale est une pathologie inflammatoire d'origine infectieuse bactérienne chez un hôte permissif. Elle fait intervenir des mécanismes étiopathogéniques complexes (flore, plaque bactérienne, environnement, facteurs de risques, système immunitaire...). Il y a atteinte du parodonte superficiel et une destruction irréversible du parodonte profond. Le signe pathognomonique des parodontites est la perte d'attache avec ou sans formation de poches parodontales. Les réactions inflammatoires sont spécifiques, à la différence des maladies gingivales.

Le complexe de Socransky (1999) met en avant le rôle des complexes bactériens dans l'apparition des maladies parodontales. L'absence de bactéries protectrices (complexe jaune), la présence de bactéries parodontopathogènes (complexes orange et rouge) (Figure 7) et la susceptibilité de l'hôte concordent avec la formation d'un environnement favorable au développement de maladies parodontales (Figure 6). Les maladies parodontales sont caractérisées par un déséquilibre de la flore en faveur des souches anaérobies à Gram négatif, sachant que la prévalence de certains germes peut varier en fonction des caractères cliniques de la maladie. Les facteurs de risques sont innés ou acquis englobant les mauvaises habitudes d'hygiène buccale du patient, la dernière visite chez le dentiste (plus de 3 ans) et l'environnement (tabagisme, stress, déséquilibre nutritionnel, statut scolaire, statut financier, dépression).

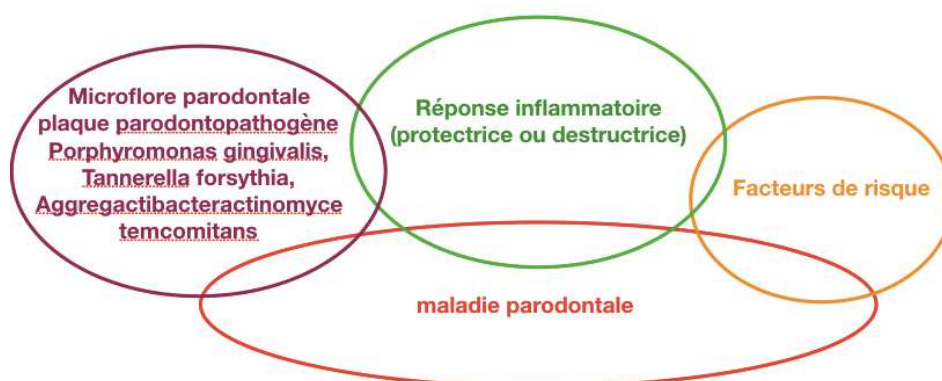


Figure 6 : Schéma de Socransky.

La plaque dentaire et le fluide gingival sont favorables à de nombreuses espèces bactériennes micro-aérophiles ou anaérobies. Les bactéries les plus virulentes à Gram négatif anaérobies ou capnophiles expriment leur potentiel pathogène à proximité ou au niveau de la jonction dentogingivale ; il s'agit surtout : d'*Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, de *Porphyromonas gingivalis*, de *Fusobacterium nucleatum*, de *Prevotella intermedia*, de *Tannerella forsythia*, de *Treponema denticola*, de certains spirochètes, parasites et amibes (*Entamoeba histolytica*).

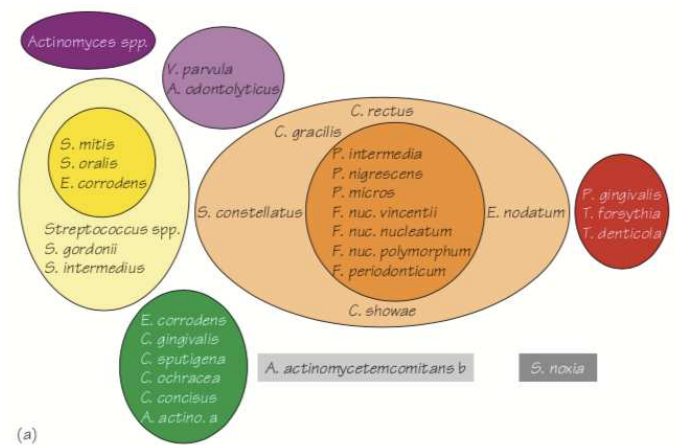


Figure 7 : Complexes bactériens de Socransky (10).

La présence de bactéries à Gram négatif est essentielle à l'initiation de la parodontite mais celle-ci n'est pas suffisante pour expliquer la progression de la maladie qui est toujours liée à la réponse inflammatoire et immunitaire de l'hôte. Les complexes orange et rouge sont présents de façon plus importante au niveau de la flore sous gingivale quand le parodonte est malade (Figure 8).

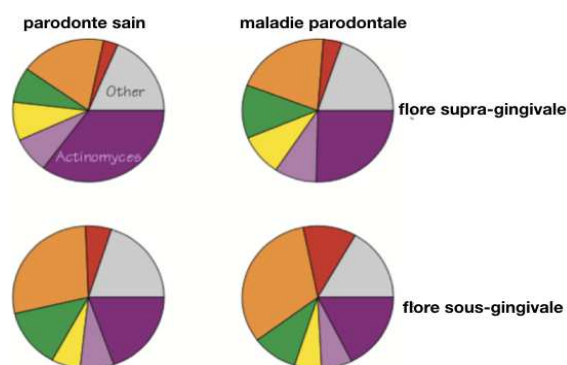


Figure 8 : Complexes bactériens présents en supra et sous-gingival en présence d'un parodonte sain (à gauche) et d'une maladie parodontale (à droite)(10).

Les bactéries contournent les mécanismes de défense de l'hôte lorsqu'il existe une défaillance du système immunitaire innée ou acquise. Une production stimulée des cytokines et des médiateurs pro-inflammatoires par les bactéries à Gram négatif provoquent un afflux des PMN (polymorphonucléaires), suivi de l'activation de l'enzyme cyclo-oxygénase 2 (COX2) et des prostaglandines E2 (PGE2) ((22) ; Slots J. 2015). La réponse est alors amplifiée avec la production accrue d'interleukine 1 bêta (IL-1bêta), l'interleukine-6 (IL-6), l'interleukine-8 (IL-8), du *tumor necrosis factor-α* (TNF-alpha) et de la PGE2, ce qui augmente l'activité phagocytaire des PMN et des métalloprotéinases pour aboutir à la résorption osseuse et à la destruction du collagène (Gotoh K 2013). La réponse immuno-inflammatoire de l'hôte, bien que protectrice, est responsable de la destruction tissulaire.

Il nous est actuellement impossible de définir les agents étiologiques spécifiques des parodontopathies. On admet cependant que la présence en grand nombre de *A. actinomycetemcomitans* dans une cavité buccale est indicatrice d'un déséquilibre de l'écosystème et d'un risque prononcé de perte d'attache (Asikainen et Chen, 1999).

La quantité et la virulence des micro-organismes pathogènes de la plaque ainsi que la résistance de l'hôte déterminent l'activité inflammatoire et la destruction progressive du parodonte. Cependant, ni l'identification bactérienne précise, ni la qualité de la réponse immunitaire de l'hôte ne semblent suffisantes pour expliquer la localisation de l'atteinte osseuse sur certaines dents et pas sur d'autres. La susceptibilité varie d'un individu à l'autre. Le risque parodontal est celui d'induire une perte d'attache au point que la sommation de celle-ci aboutisse à la perte d'une ou plusieurs dents. Ce risque est donc individuel et est fonction de la capacité à réagir face à l'infection.



Figure 9 : Perte d'attache terminale au niveau de la 12 (avec la courtoisie du Dr. Clouet R.).

Certaines études rapportent une perte d'attache moyenne de 0,10mm/an pour les parodonties à évolution lente et de 3,8mm/an pour les parodontites agressives (40 fois plus rapide) (Papapanou, 1999).

Une revue systématique de 47 études de 1965 à 2004 rapportées lors du cinquième atelier européen sur la parodontologie en 2005 a conclu que les variables socio-économiques associées aux maladies parodontales étaient moins importantes que le tabagisme, mais chez les non-fumeurs, le statut éducatif pourrait avoir un impact sur les maladies parodontales (23). Les problèmes d'alphabétisation ont également été signalés (Jones et Wehler, 2005).



Figure 10 : Maladie parodontale chronique généralisée (avec la courtoisie du Dr. Clouet R.).

La progression de la maladie parodontale est liée à l'âge (24). Le maintien de la santé parodontale est un problème croissant pour les personnes âgées de 65 ans ou plus, comme le montrent les données :

- 85% d'entre eux ont une perte d'attache de 4 mm,
- 31% présentaient une perte d'attache clinique de 6 mm ou plus.

Aucune donnée ne conclue que l'âge en soi affecte l'accumulation de la plaque, l'inflammation gingivale, la réduction de l'inflammation après le traitement ou la réponse à un traitement chirurgical.

2.2 Les Migrations Pathologiques Secondaires (MPS)

2.2.1 Epidémiologie

Dans l'étude de Towfighi PP (25), la prévalence de la migration pathologique était de $30,03\% \pm 2,5$ (103/343 sujets). Martinez- Canut P. (26) a constaté une prévalence de 55,8% en étudiant 852 patients parodontaux (36,7% d'hommes et 63,3% de femmes) dont l'âge variait de 19 à 72 ans (moyenne $42,5 \pm 9,9$).

Il est difficile d'identifier une forme primaire de déplacement car la majorité des patients atteints de MPS présente une combinaison de déplacements dentaires tels que la vestibulo-version, l'apparition de diastème, la rotation et/ou l'égression (25). Les migrations sont plus fréquentes dans les classes II1, classe II subdivisions, classe II biproalvéolie, mais aussi dans les cas de maxillaire réduit et d'encombrements mandibulaires où il existe une dysfonction linguale (27).

2.2.2 Les différents types de MPS

Les MPS résultent de la présence ou du développement d'une migration dentaire qui n'était pas présente avant ou qui existait déjà mais qui s'est aggravée. On distingue les versions « dent en éventail », diastèmes, rotations, égressions et les migrations vers les espaces édentées.



Figure 11 : Cas clinique au sien du CHU de Nantes avec un diastème entre 11-21, égression et version de la 21.

Selon Brunsvold MA (28), les MPS ont des étiologies multiples dont les traumatismes occlusaux (primaires ou secondaires (29)), l'effondrement occlusal postérieur, la perte d'attache parodontale, l'inflammation tissulaire, les édentements non compensés, les habitudes pernicieuses... Leur traitement est souvent multidisciplinaire, comprenant la combinaison de traitements parodontal, occlusal, orthodontique et prothétique. La susceptibilité aux migrations est individuelle comme les forces exercées sur les dents (mastication, parafonction, occlusion, pulsion linguale...).

Lorsque nous mastiquons, les forces occlusales jouent un rôle sur la structure parodontale en activant des mécano-récepteurs parodontaux. Ces derniers régulent les mouvements de la mâchoire. Une dent a une mobilité physiologique permise par le LAD. Les forces physiologiques exercées sur une dent au parodonte réduit peuvent déclencher une migration souvent vestibulaire, parfois mésiale et plus rarement verticale. Ces MPS peuvent s'aggraver avec une perte d'attache active, un traumatisme occlusal ou la combinaison des deux.

Cependant, dans l'étude de Martinez-Canut P. (26), les migrations pathologiques dentaires étaient statistiquement associées à une perte osseuse, à des pertes dentaires et à une inflammation gingivale mais ni à l'âge, ni à l'interposition linguale, ni aux parafonctions et habitudes orales.

Elles apparaissent dans plus de la moitié des cas au cours des infections parodontales et s'expliquent par la perte de tension des fibres supracrestales au cours des parodontites (26) (30). Les fibres transeptales sont responsables de la position des dents sur l'arcade (Picton 1973) ainsi que d'une « force parodontale » quantifiée entre 6 et 87 grammes (Southard TE). Cette dernière est réduite en présence d'une maladie parodontale qui détruit partiellement les fibres dento-alvéolaires et transeptales, les migrations sont le résultat de cette rupture d'équilibre. On observe majoritairement des diastèmes (25).

La migration dentaire peut survenir relativement lentement dans la parodontite chronique, mais plus rapidement dans la parodontite agressive ou lorsque des facteurs de risque sont présents.

Les MPS ont donc les mêmes origines que la mobilité dentaire qui peut changer avec les influences du métabolisme générale, une occlusion traumatique et l'inflammation. Une mobilité dentaire anormale peut-être aussi due à une fracture coronaire et/ou radiculaire, une lésion endodontique aiguë et une résorption interne ou externe. Ces dernières sont à éliminer avant de parler de MPS d'une dent. Des contacts prématurés entre les arcades peuvent engendrer des traumatismes sur les structures parodontales. Un traumatisme occlusal sur parodonte sain, même réduit, augmente la mobilité de la dent sans engendrer de perte d'attache. Cependant, en présence d'un parodonte malade, l'inflammation se diffuse apicalement ce qui aboutit à une perte osseuse. Dans certains cas, des corrections occlusales seront nécessaires pour éliminer l'influence traumatique d'une occlusion non physiologique.



Figure 12 : Cas clinique du CHU de Nantes avec une égression pathologique de la 21 et présence d'une perte d'attache. Une parafonction qui pourrait déplacer la dent au parodonte réduit dans le sens de la force est à rechercher.

Avant de commencer à traiter orthodontiquement une MPS, l'orthodontiste doit rechercher l'étiologie de celle-ci, surtout si elle est récente. Les résultats de l'étude de Towfighi et al. (25) suggèrent que la perte d'attache due à une maladie parodontale est une étiologie importante de la migration pathologique parodontale. Cependant, d'après les observations cliniques, il est évident que d'autres facteurs tels que les habitudes, les interférences occlusales et l'inflammation peuvent provoquer une migration des dents. En raison du manque d'informations objectives, il est difficile de classer les autres facteurs étiologiques par ordre d'importance.

2.2.3 Conséquences des MPS

2.2.3.1 *Fonctionnelle*

Les migrations pathologiques dentaires engendrent souvent des dysfonctionnements occlusaux. Les traumatismes primaires sur parodonte sain mais réduit peuvent amener à une mobilité augmentée par rapport à un parodonte normal à cause du centre de résistance situé plus apicalement. Le moment engendré par une force extérieure (interférence occlusale, dysfonction...) est donc plus important. Les contraintes sur le ligament sont également plus importantes. Cela est souvent inconfortable pour le patient et une contention est alors posée pour réduire la mobilité.

Un parodonte réduit peut être à risque de récurrence ou d'aggravation de la maladie parodontale selon la quantité d'attache encore présente, le stress, l'immunité, le saignement, la mobilité, ou si la hauteur de gencive attachée est inférieure à 2 mm ou de faible épaisseur.

Les traumatismes secondaires sont des prématurités, des forces excessives sur un parodonte inflammatoire et de véritables catalyseurs de la progression de la maladie parodontale. Une mauvaise occlusion modifie le « chemin » de l'inflammation. Une perte osseuse et d'attache clinique sont possibles ainsi qu'une migration de la plaque en direction apicale. La maladie parodontale peut ainsi progresser. Les mobilités sont dues à l'élargissement de l'espace ligamentaire en rapport avec des phénomènes inflammatoires mais aussi à l'inflammation du tissu conjonctif gingival (31). Après contrôle de l'inflammation parodontale, un arrêt des mobilités par rétablissement d'une flore compatible avec la santé parodontale est observé.

Le traumatisme occlusal est capable de provoquer et/ou d'augmenter une mobilité dentaire existante (32) (33). La direction des forces excessives explique qu'une dent puisse devenir mobile. Selon Fan J et Caton JG (34), les études ont généralement admis que les traumatismes occlusaux et les forces occlusales excessives ne déclenchent pas la parodontite ni la perte d'attache clinique. Le traumatisme à lui seul ne peut pas déclencher de perte d'attache. Lorsque la parodontite induite par la plaque et le traumatisme occlusal sont présents en même temps, il y a peu de preuves que le traumatisme occlusal puisse augmenter le taux de perte du tissu conjonctif. La thérapie occlusale est indiquée dans le cadre du

traitement parodontal pour réduire la mobilité et améliorer le confort du patient et la fonction masticatoire.

En résumé, le traumatisme occlusal ne déclenche pas la parodontite et il existe peu de preuves selon lesquelles il modifie la progression de la maladie. Cependant, la réduction de la mobilité dentaire peut renforcer l'effet du traitement parodontal.

2.2.3.2 Esthétique

Dès le début de la prise en charge parodontale, les patients sont prévenus que la désinfection et les soins locaux déclencheront ce processus naturel de récession qui intervient inévitablement en cas de rémission ou de guérison. Il y a une migration apicale du bord marginal gingival ainsi que du parodonte sous-jacent.

L'allongement visible des dents est un motif important de consultations parodontale et orthodontique. Il y a une absence de parallélisme de la lèvre inférieure avec le bord libre des incisives supérieures ainsi qu'une irrégularité des collets. La rupture de la ligne esthétique du sourire et la visibilité des racines sont souvent les motifs de consultation orthodontique suite à une maladie parodontale. De plus, l'absence de papille interdentaire peut aussi être une demande esthétique à gérer suite aux MPS.

La profondeur initiale de l'atteinte est le facteur le plus déterminant des différentes récessions gingivales mais il faut aussi prendre en compte d'autres facteurs comme le niveau d'attache des freins, des insertions musculaires, la finesse de la gencive et des corticales osseuses, la présence d'un brossage iatrogène, d'habitudes nocives, d'une surcharge occlusale, d'une dysfonction ...

2.2.3.3 Psychologique

La mobilité inquiète le patient. C'est la raison pour laquelle les dispositifs de contention sont souvent réalisés en urgence afin de le rassurer. Le patient a une perte de confiance en soi liée à la perte de l'organe dentaire. Les MPS peuvent avoir des conséquences sur son image corporelle et pour son amour-propre, s'aggravant parfois en problèmes psychologiques. Il existe des publications multiples qui divergent sur l'aspect psychologique amélioré ou non par un traitement. En effet, selon O' Reagan (1991), l'amélioration de

l'esthétique dentaire, par l'orthodontie par exemple, ne provoque pas nécessairement une amélioration de l'image de soi. Or, selon Théry-Hugly (35), l'estime de soi peut augmenter grâce au traitement orthodontique en améliorant les considérations psychologiques autour de la sphère oro-faciale.

2.3 Traitement orthodontico-parodontal

2.3.1 La place de l'orthodontie dans la prise en charge des maladies parodontales

Une relation bidirectionnelle dynamique existe entre le parodontiste et l'orthodontiste : certains patients ayant un traitement orthodontique subissent des séquelles parodontales ; les maladies parodontales peuvent entraîner des MPS et des problèmes esthétiques comme vus précédemment.

Le diagnostic parodontal suit l'anamnèse et l'examen clinique. Le traitement parodontal initial (ou Thérapeutique parodontale initiale TPI) concerne le contrôle de l'infection et la prise en charge des facteurs étiologiques. Une réévaluation est faite après le traitement étiologique. Chronologiquement, le traitement parodontal est toujours prioritaire afin de contrôler l'infection et donc éliminer l'inflammation, les poches résiduelles et corriger les défauts osseux. L'état parodontal doit être stable avec une hygiène orale optimale. La nécessité d'un traitement chirurgical parodontal se pose soit avant le traitement orthodontique une fois l'assainissement obtenu, ou après le traitement orthodontique. L'orthodontie ne sera entreprise qu'après la fin du traitement parodontal et pourra permettre le repositionnement des dents et la correction de certains défauts osseux.

Une éventuelle correction occlusale sera envisagée dès la phase initiale du traitement et un traitement prothétique est indispensable en cas d'édentement non compensé avec ou sans effondrement occlusal postérieur. Des études ont montré que l'élimination des forces traumatiques occlusales améliore la guérison du tissu parodontal après un traitement parodontal (36) (37). L'évaluation de la nécessité de l'orthodontie se fait selon le motif de consultation du patient et de sa motivation. Un traitement global peut être proposé au patient dans le cadre des malocclusions primaires (héréditaires, génétiques) ou secondaires (développées et/ou aggravées durant la vie adulte).

Les choix thérapeutiques sont normalement définis lors de la phase corrective du traitement, y compris le choix de réaliser d'autres traitements parodontaux non chirurgicaux (antimicrobiens locaux adjuvants) ou chirurgicaux et/ou un traitement orthodontique. Souvent le parodonte est réduit, les surfaces des parois alvéolaires sont faibles. Les contraintes exercées par les forces orthodontiques sont plus élevées par rapport à un parodonte normal de par la distance qui est augmentée entre le centre de résistance de la dent et le point d'application de la force. Il faut ainsi réduire les forces afin de diminuer les contraintes transmises ce qui permet l'étirement des fibres du LAD et la stimulation de l'activité cellulaire.

Des forces légères sont à appliquer. Le plan de traitement orthodontique, la biomécanique et le système d'appareillages pourraient devoir être modifiés pour traiter les dents présentant un support parodontal réduit. Avec une force orthodontique correctement appliquée et le maintien de l'hygiène buccale, le mouvement dentaire orthodontique est possible sans aucun effet délétère dentaire. L'orthodontie participe indirectement au traitement parodontal (prévention, amélioration de l'hygiène) en permettant l'alignement dentaire et l'établissement des points de contacts inter dentaires. Elle participe directement au traitement parodontal en permettant un gain d'attache.

Les contre-indications au traitement orthodontique sont un manque de motivation/coopération, un parodonte inflammatoire, des lésions inter-radiculaires de classe II/III non traitées (38), des dents à mobilité importante (classe 3 ou 4), la présence de résorptions radiculaires externes (Giovannoli JL.) et la présence de poches supérieures à 4 mm qui oblige le patient à entreprendre un traitement chirurgical. Il faut réaliser une évaluation individuelle afin de vérifier que le déplacement dentaire est possible (quantité osseuse suffisante) afin que le traitement orthodontique ne provoque pas un déséquilibre trop important de la balance bénéfice-risque. En effet, la perte dentaire pourrait être accélérée en ne prenant pas les précautions nécessaires avant un déplacement orthodontique. Un terrain parodontal « miné » peut induire une perte d'attache complémentaire et/ou une rhyzalyse qui hypothéqueraient gravement l'avenir de dents déjà compromises.

La mise en place d'une contention post-orthodontique est nécessaire afin d'éviter la récurrence des MPS mais aussi de réduire la mobilité dentaire qui peut gêner les patients.

2.3.2 Correction orthodontique des Migrations Pathologiques Secondaires

Auparavant, les dents présentant des MPS étaient laissées « guérir » naturellement ou extraites. Elles étaient considérées comme des dents à mauvais pronostic jusqu'à ce que Hirschfeld démontre qu'elles pouvaient être maintenues sur le long terme. Dans certains cas, un retour spontané vers leur position initiale est possible.

Il faut identifier les causes, les habitudes dysfonctionnelles, parafunctionnelles et donc déceler les facteurs étiologiques à l'origine des déplacements dentaires. Après une thérapeutique parodontale initiale, 48,5 % des diastèmes sont réduits et 36,4 % sont fermés (30). Une résolution des MPS est possible spontanément lorsque la pathologie est sous contrôle et que le volume gingival est redevenu normal. Le surfaçage radiculaire offre des résultats « orthodontiques » par réduction des diastèmes incisifs du fait de la suppression de la composante d'œdème.

Souvent le problème est localisé au niveau des incisives qui sont allongées et espacées. Les mouvements orthodontiques permettent de redresser, fermer les diastèmes, niveler, rétablir la courbe de Spee, aligner... Ils permettent la correction esthétique de la perte de papilles, le rapprochement radiculaire des racines divergentes ou encore d'améliorer les paramètres cliniques parodontaux (niveau d'attache clinique, mobilité, profondeur de poche) et le remodelage parodontal. Enfin, ils peuvent répartir les forces selon le grand axe des dents à des fins prothétiques.

L'alignement dentaire et la fermeture des diastèmes par ingression et rétraction orthodontiques permettent d'harmoniser le sourire et les rapports labiaux. Le but de l'orthodontie ici est surtout d'améliorer la probabilité de sauver et de restaurer une denture détériorée. L'orthodontie est une étape essentielle pour amener une solution esthétique et fonctionnelle. C'est dans ce domaine que l'orthodontie et la parodontie associées à l'odontologie restauratrice aident au rétablissement de l'esthétique des parodontes réduits (39).



Figure 13 : Vues frontale (a) et latérale (b) d'une incisive centrale droite maxillaire extrudée chez un patient ayant eu une parodontite agressive localisée avant de commencer un traitement orthodontique et après un traitement parodontal (40).

Le mouvement orthodontique ne s'accompagne d'un remodelage parodontal optimal que si des conditions mécaniques, anatomiques et non inflammatoires sont réunies. Dans un milieu non inflammatoire et physiologique, le déplacement orthodontique pourrait même traiter une lésion parodontale en favorisant l'apposition osseuse de façon stable dans le temps (41) (42).

Les mouvements orthodontiques sont réalisés dans le 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} ordre (les deux derniers affectant la planéité de l'arc orthodontique dans le sens vertical) :

- Translation et rotation (double translation vestibulaire et linguale) (mouvements du 1^{er} ordre)
- Ingression/égression et versions (mouvements du 2^{ème} ordre)
- Torque ou inclinaison (mouvement du 3^{ème} ordre).

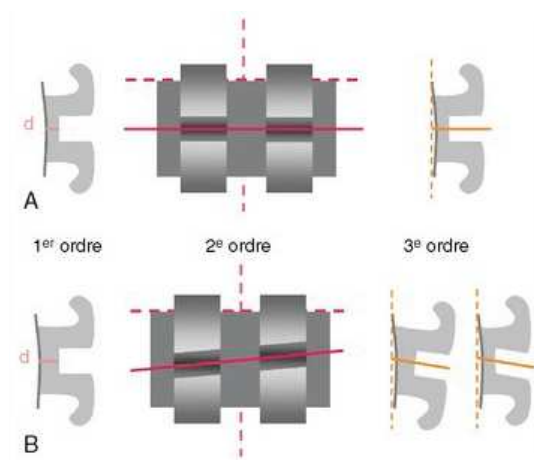


Figure 14 : Mouvements possibles de l'arc dans les 3 sens de l'espace.

En présence de diastèmes interincisifs, la fermeture des espaces et le nivellement avec rapprochement radiculaire des racines divergentes permettent de déplacer coronairement la papille. Selon la forme plus ou moins triangulaire des couronnes des incisives, une réduction inter-proximale peut être réalisée. Une ingression incisive permet également d'apicaliser le point de contact et de diminuer l'espace interdentaire vertical dépourvu de papilles.

Les arcs mis en place sont à forte élasticité, délivrant une force continue et légère, compatible avec le contexte parodontal. Un système de force discontinu n'est donc acceptable que si la durée des interruptions de port est inférieure au temps de latence de différenciation cellulaire. Il faut éviter sur parodonte réduit la résorption indirecte en utilisant des systèmes de force constants pour éviter toute réactivation à l'origine de la résorption indirecte (sans re-hyaliniser).



Figure 15 : Cas clinique du CHU de Nantes chez un patient présentant une vestibulo-version des incisives maxillaires.

Dans l'étude de Daniel Cardaropoli (43), un traitement par intrusion des incisives avec des défauts infra osseux est réalisé chez un patient adulte au parodonte compromis. La comparaison des valeurs avant et après traitement a montré une amélioration statistiquement significative pour tous les paramètres sans diminution notable de la longueur des racines. La profondeur de sondage résiduelle moyenne était de 2,80 mm et l'intrusion moyenne des incisives de 2,05 mm. De plus, les radiographies montraient une réduction des défauts infra-osseux. Les mouvements intrusifs, après un traitement chirurgical parodontal approprié, peuvent modifier positivement à la fois l'os alvéolaire et les tissus mous parodontaux.

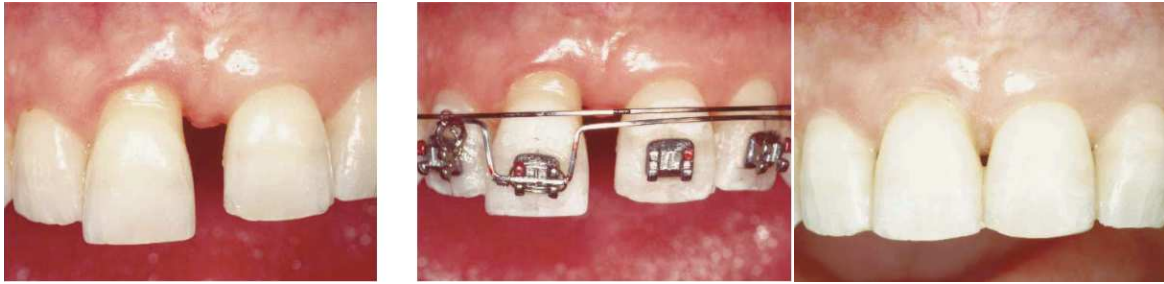


Figure 16 : À gauche, situation initiale après une chirurgie parodontale ; au milieu, traitement par arc de base d'ingression ; à gauche situation finale après 10 mois de traitement.

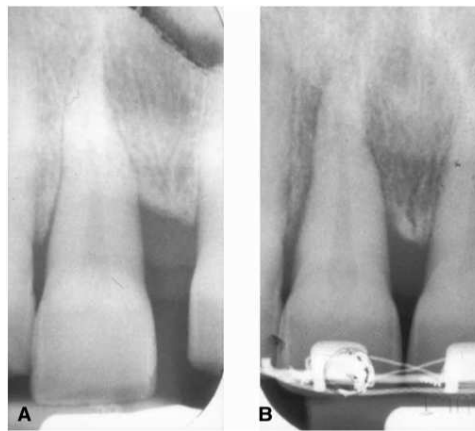


Figure 17 : À gauche, radiographie du défaut osseux initial ; à droite, défaut osseux final diminué.

Dans l'étude de Cao T. (44), des dents ayant des MPS ont reçu un traitement combiné paro-orthodontique. La perte d'attache clinique a diminué de manière significative ; la distance entre la jonction émail-cément et la crête osseuse marginale a diminué de 0,66 mm. La profondeur de poche au sondage et le niveau d'attache clinique se sont nettement améliorées et les examens radiographiques ont montré une néoformation osseuse verticalement et horizontalement. La distance du point le plus apical du défaut osseux à la jonction émail-cément après traitement combiné a diminué.



Figure 18 : Photographies illustrant en A des MPS, et en B un traitement par appareil fixe orthodontique (arc de base d'ingression et de rétraction incisif).

Le traitement orthodontico-parodontal combiné améliore les conditions parodontales des sites osseux défectueux. La morphologie osseuse, modifiée par une intrusion orthodontique avec fibrotomie, peut améliorer les résultats de la régénération tissulaire guidée ultérieure. A la fin d'un traitement orthodontique, il est indispensable de rechercher l'occlusion la plus stable et fonctionnelle possible ainsi que la disparition des para et dysfonctions. Une contention linguale collée systématique est à poser car les fibres desmodontales mettent au minimum 232 jours pour se réorganiser en fonction de la nouvelle position de la dent. Elle est permanente dans les cas de parodonte réduit.

En résumé, dans le cadre des parodontes réduits, l'orthodontie améliore les possibilités de conserver et restaurer les dents dont le pronostic est précaire. Elle peut diminuer les lésions osseuses angulaires par suppression des proximités radiculaires et éviter l'aggravation des récessions, résorptions et alvéolyses.

2.3.3 Effet d'un appareil orthodontique conventionnel fixe sur la santé parodontale

Jusqu'à présent, le traitement orthodontique fixe reste le meilleur choix pour les différents types de malocclusions. Les brackets métalliques traditionnels sont souvent recommandés pour les patients présentant des problèmes d'occlusion sévères. Bien que l'efficacité des bagues traditionnelles ait été reconnue dans le monde entier, elles présentent

encore des inconvénients. L'effet des appareils orthodontiques sur la santé parodontale a été évalué dans de nombreuses études (45) (46) (47) (48) (49) (50) (51).

Il est difficile de nettoyer les bagues de manière conventionnelle, les patients doivent brosser soigneusement chaque support et passer le fil dentaire autour des fils orthodontiques pour éliminer toute trace de plaque. Le développement de la plaque dentaire dépend de plusieurs facteurs environnementaux et individuels tels que le régime alimentaire, l'hygiène buccale, l'exposition au fluorure, la qualité de la salive, la composition de la microflore buccale et les facteurs immunitaires (52) (53).

Les appareils orthodontiques fixes créent des zones de rétention pour l'accumulation de plaque et empêchent les tentatives d'hygiène orale, ce qui augmente les risques de déminéralisation de l'émail, de carie, d'inflammation gingivale et de diminution de la santé parodontale. Les facteurs locaux associés au port d'un appareil orthodontique fixe influencent les modifications de la plaque sous-gingivale qui entraînent davantage d'inflammation et de saignement (54) (10) (45). Ils retiennent également des aliments qui fournissent des nutriments, en particulier lorsque l'hygiène buccale est mauvaise, augmentant ainsi les possibilités de colonisation par les bactéries parodontopathogènes.



Figure 19 : Cas clinique du CHU de Nantes représentant gonflement et saignement gingivaux chez un patient avec une hygiène médiocre.

Selon la revue systématique de Bollen (55) et la revue de littérature de Gastel JV et al. (51), aucune destruction parodontale irréversible cliniquement significative n'a été prouvée suite à la pose d'un appareil orthodontique. Le traitement orthodontique lui-même n'augmente pas l'incidence des pathologies parodontales. Cela concorde avec d'autres études selon lesquelles les appareils fixes n'augmentent pas le risque de maladie parodontale (56)

(57). De plus, une prise en charge orthodontico-parodontale a démontré une amélioration de la santé parodontale et un rétablissement d'une occlusion fonctionnelle. Dès les années 50, certains auteurs suggèrent même que la correction orthodontique peut contribuer à la régénération des tissus parodontaux (58).

Selon Gomes SC (49), aucune différence significative n'a été remarquée parmi les indices mesurés avant et après la dépose de l'appareil (pour l'indice de plaque, l'indice de saignement gingival, le saignement au sondage, la profondeur de poche au sondage et la perte d'attache). L'hôte et les facteurs bactériens interagissent pour réguler la progression d'une lésion initiale (gingivite) en parodontite (59) et les modifications gingivales inflammatoires sont suggérées comme étant réversibles après la pose (60) (49) et la dépose de l'appareil (61). Les paramètres cliniques, tels que l'indice de plaque, l'indice gingival, la profondeur du sondage parodontal et le liquide crévicaire gingival ont diminué significativement 6 mois après la dépose (47). Une normalisation des indices gingivaux a été rapporté entre 1 et 6 mois après la dépose des appareils multi-attaches (47) (62) (61) (63).

Or, certaines études ont rapporté une perte d'attache clinique significative au cours du traitement orthodontique (64) (65). D'autres ont montré que le traitement orthodontique peut également causer une réponse inflammatoire même chez les patients ayant une bonne hygiène buccale, accélérant ainsi le développement de lésions parodontales et entraînant une perte d'attache (66) (67).

A plus petite échelle, la composition du microbiote sous-gingival peut être affectée, entraînant une colonisation par des micro-organismes associés à une inflammation gingivale et à une destruction parodontale (68). Entre 3 et 12 semaines après le début de la formation de la plaque supragingivale, une microflore distincte sous-gingivale, composée principalement de bactéries anaérobies à Gram négatif et comprenant certaines espèces mobiles, s'établit. Pour coloniser un site parodontal, une espèce doit pouvoir se fixer à plusieurs surfaces ou à d'autres espèces bactériennes attachées à ces surfaces (24). Une gingivite persistante est fréquemment constatée pendant le traitement. Selon Atack NE (46), il y a un changement spécifique de la flore microbienne et une augmentation des Lactobacilles, des spirochètes, des bactéries anaérobies et de *P. intermedia*.

Dans l'étude de Petti S. (69), les patients avec des appareils fixes étaient cliniquement sains 6 mois après la pose mais montraient une augmentation significative de numération bactérienne, des bâtonnets mobiles, des spirochètes sous-gingivaux et une diminution des cocci à Gram positif. Selon Van Gastel (62), trois mois après la dépose, une réduction significative du nombre de parodontopathogènes retrouvés au cours du traitement orthodontique a été rapportée ainsi qu'une augmentation du ratio UFC aérobie/anaérobie.

Le traitement orthodontique pourrait stimuler la croissance d'une flore sous-gingivale dans laquelle certaines souches bactériennes parodontopathogènes sont répandues, tels que *Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella intermedia*, *Bacteroides forsythus*, *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Fusobacterium nucleatum* et *Treponema denticola*. Une modification significative du microbiote oral suggère que le risque de développer une gingivite dans les mois suivant le traitement reste élevé et le risque de parodontite ne peut être exclu (47). A l'inverse, selon Thornberg et al. (70), aucun niveau d'agent pathogène n'était significativement plus élevé après 12 mois de traitement.

Dans une revue systématique plus récente de Zasciurinskiene E (71), 14 études ont porté sur les modifications parodontales au cours du traitement orthodontique chez des patients à risque parodontal. Il n'existe actuellement aucun essai clinique contrôlé randomisé qui montre que le traitement orthodontique améliore ou aggrave le statut des dents parodontalement compromises. Une amélioration significative de l'état parodontal a été observée dans 11 des 14 études. En raison du niveau d'hétérogénéité de la méthodologie des études incluses, les examinateurs ont trouvé qu'il était impossible de mener une méta-analyse.

Pour conclure, il est admis que le fait de mettre l'accent sur les procédures de contrôle de la plaque avant la pose de l'appareil orthodontique pourrait bien minimiser la lésion inflammatoire souvent observée au cours du traitement. Bien que des études antérieures aient montré que le traitement orthodontique peut influencer positivement la santé parodontale, les rapports récents et les preuves actuelles ne semblent pas être en accord avec l'affirmation selon laquelle le traitement orthodontique entraîne une amélioration générale de la santé parodontale (71) (51) (55). Le dialogue entre le parodontiste et l'orthodontiste doit toujours être établi afin d'améliorer la prise en charge thérapeutique. Le patient doit être

investi car sans sa compliance au bon déroulement des procédures d'hygiène bucco-dentaires, cela aura un impact considérable sur son état parodontal (72).

3 L'efficacité des aligneurs

3.1 Efficacité des aligneurs dans le contrôle des mouvements dentaires

3.1.1 Les mouvements orthodontiques

3.1.1.1 Rappels : Histologie et biomécanique sur un parodonte normal

Le mouvement dentaire est permis par la force appliquée par le fil via les brackets sur les dents. Cette force ne doit pas dépasser la pression sanguine au niveau des capillaires (25g/cm^2) au risque de voir la dent subir un arrêt prolongé du mouvement, voire une résorption radiculaire ou une ankylose. La dent aura une face en pression (compression du ligament), l'autre sera en tension (étirement des fibres du ligament). Une zone hyaline plus ou moins importante, selon la force exercée, se développera sur la face en pression qui empêchera tout remaniement osseux pendant un certain temps. Puis, celle-ci sera supprimée par des processus cellulaires qui permettront le mouvement dentaire. Le pool cellulaire « ostéoclaste-ostéoblaste » est alors disponible, l'orthodontiste doit appliquer des forces continues afin de ne pas « repartir à zéro » dans le processus du mouvement. Les forces doivent être légères afin que la dent se déplace avec son parodonte (résorption directe) et non à travers (résorption indirecte) (73).

Ainsi, selon Baron, la première phase du mouvement est rapide (24h à 2 jours), immédiate et de faible amplitude. Ensuite, durant 20 à 30 jours, le déplacement dentaire est faible voire nul, c'est la période de latence (hyalinisation du LAD au niveau des zones de pression). Puis la zone nécrosée disparaît par résorption directe ou indirecte et le déplacement se termine par une période de post-latence.

La réaction os/ligament/dent (articulation dentaire) dépend de l'intensité, de la durée et de la direction de la force. Les dents sont mobiles au sein de leur articulation grâce au LAD ; leur mobilité physiologique dépend de sa largeur, de sa longueur et de sa qualité. Selon le

mouvement, le comportement du ligament ne sera pas le même ; l'orientation des fibres n'étant pas identique au niveau de l'apex et en cervical.

La vitesse de déplacement suit la vitesse du *turn over* tissulaire et la dynamique du métabolisme parodontal (ligament et os). Elle doit être sensiblement égale à la vitesse de résorption osseuse afin de ne pas créer de nouvelles zones de hyalinisation. Le remodelage osseux chez un adulte est plus fréquent au niveau de l'os trabéculaire (25%/an). Le cycle ARIF (Apposition-Résorption-Inhibition-Formation) dure 3 mois et 10 % de l'os est soumis à des changements.

L'amplitude du déplacement est limitée par l'anatomie de l'os alvéolaire et du LAD. La résistance d'une dent au déplacement s'appelle sa valeur d'ancrage, estimée selon la racine (surface et volume). Ainsi pour une canine maxillaire dont la surface radiculaire totale est de 203 mm^2 , la surface radiculaire en opposition au déplacement sera de 100 mm^2 . La contrainte à appliquer pour déplacer une dent étant de 2500 Pa/mm^2 (25 g/cm^2), il faudra donc appliquer une force de $0,25 \text{ N}$ (25 g) sur une canine pour pouvoir la déplacer (74).

Une force appliquée sur une dent implique un moment : $M = F \cdot d$ avec d la distance entre le centre de résistance (C_r) de la dent et le point d'application de la force. Le C_r est situé au tiers radiculaire cervical pour une dent mono-radiculée ayant la forme idéale d'un paraboloïde de révolution (Figure 20). Une force appliquée au niveau du centre de résistance d'une dent provoquera un mouvement de translation (gression pure) (Figure 21 en bas).

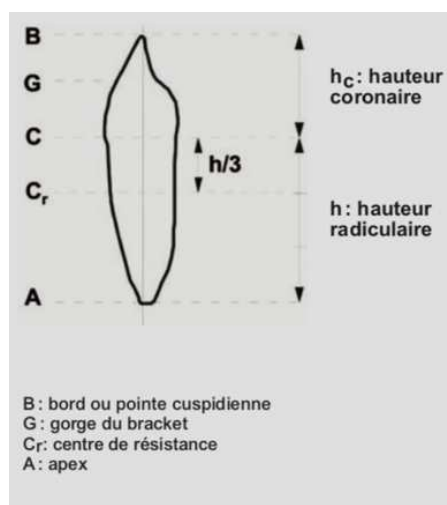


Figure 20 : Schéma dentaire situant le centre de résistance(73).

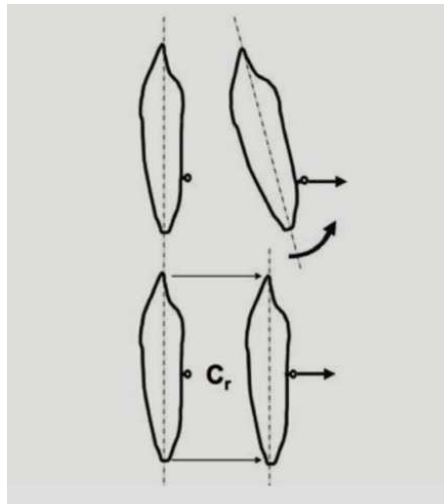


Figure 21 : Schéma d'une version (en haut) et gression (en bas) dentaire (73).

En mécanique du déplacement dentaire, deux paramètres sont évalués :

- La résultante générale des forces appliquées : F qui détermine le mouvement de translation ;
- Le moment résultant autour de C_r : M qui est le mouvement de rotation de la dent autour de C_r .

La plupart des mouvements dentaires orthodontiques sont la combinaison de plusieurs mouvements dentaires purs (une translation liée à l'intensité de la force et une rotation liée à l'importance du moment). La prédominance du mouvement sera donnée par le rapport moment/force, qui se traduit par une rotation si le rapport est élevé et par une translation si au contraire ce rapport tend à diminuer. Au cours du déplacement orthodontique, le rapport M/F doit être constant (75).

La dent subit une translation C_r-C_r' et une rotation autour de C_r' d'un angle θ . Le mouvement apparent est une rotation autour d'un point fixe appelé centre de rotation C_p (Figure 22). Lorsque C_r et C_p sont confondus, nous obtenons un mouvement de rotation pure autour de C_r . Lorsque C_p est rejeté à l'infini, la dent se déplace en gression pure. Le rapport M/F détermine le rapport rotation/translation.

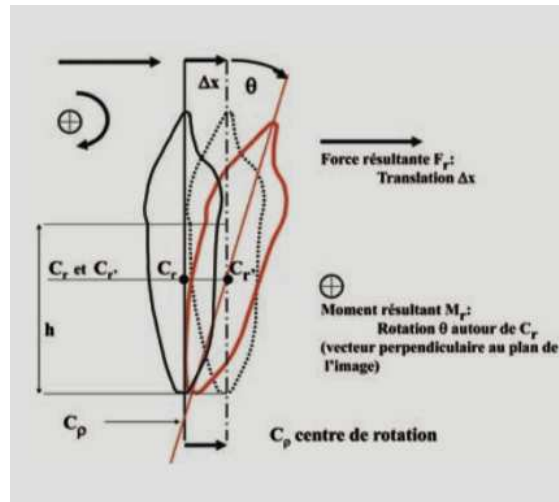


Figure 22 : Mouvement autour du centre de rotation C_p .

En orthodontie fixe, selon Nanda R., un arc d'ingression au niveau des quatre incisives maxillaires utilise une force de 40 à 50 grammes (ce qui correspond à une force d'environ 0,1 N (10 g) pour chaque incisive maxillaire) et de 30 à 35 g pour les incisives mandibulaires. Pour chaque millimètre de mouvement, la perte de force est de seulement 5 à 8 grammes et le fil peut rester actif pendant quelques mois, sans nécessité d'activation. De plus, l'*overbite* peut être réduit de 2,22 à 2,54 mm (respectivement en technique arc droit et en segmentée). En exerçant une force de 10 g par incisive mandibulaire, l'intrusion obtenue en moyenne est de 1,03 mm (en arc droit) et de 1,71 mm (en technique segmentée). Melsen rapporte une ingression allant jusqu'à 3,5 mm avec un arc de base (76). Des mouvements de rétraction et de version sont associés à la réduction de l'*overbite*. Le mouvement d'ingression est souvent le plus indiqué lorsqu'une dent antérieure apparaît allongée suite à une perte d'attache parodontale (76).

Cependant, les données sur l'efficacité du mouvement dentaire orthodontique semblent être très limitées. Cela a rendu impossible la réalisation d'une méta-analyse. Aucune preuve concernant le niveau de force optimal en orthodontie ne peut être extraite de la littérature. Des études cliniques contrôlées et des expériences plus standardisées sont nécessaires pour mieux comprendre la relation entre la force appliquée et le taux de déplacement des dents (77).

3.1.1.2 *Sur un parodonte réduit*

Dans le processus décisionnel concernant le traitement orthodontique chez les patients atteints de parodontite, le niveau d'attache clinique, la mobilité des dents et l'inclinaison des incisives doivent être pris en compte (78).

Le centre de résistance de la dent est en situation plus apicale par rapport à un parodonte entier (76). Lorsque nous appliquons une force éloignée du Cr, la contrainte au niveau du parodonte sera plus élevée car d augmente et donc le moment aussi (Deblock L et Petitpas L.). La dent au parodonte réduit apparaît plus mobile (79). Le bord occlusal étant à plus grande distance du centre de résistance, le mouvement effectué par la couronne est de plus grande amplitude.

La diminution du support osseux engendre une mobilité dentaire éventuellement augmentée ainsi qu'une susceptibilité aux traumatismes occlusaux. Il faudra donc veiller à établir une contention définitive afin de limiter le plus possible les risques de récurrence.

Les dents au support parodontal réduit peuvent subir un mouvement orthodontique réussi sans compromettre leur efficacité ni leur situation parodontale (80). Un excellent contrôle de la plaque avec des visites régulières tous les 3 à 6 mois et l'application de forces orthodontiques légères et continues sont recommandés pour un traitement efficace des patients présentant des défauts parodontaux.

Des études cliniques et histologiques indiquent qu'une nouvelle attache est possible grâce à l'intrusion orthodontique dentaire. Il serait possible d'éliminer les défauts en déplaçant les dents avec un parodonte sain et réduit dans les poches infra-osseuses, suggérant la possibilité d'étudier la présence d'une nouvelle attache au niveau du tissu conjonctif. De plus, les mouvements d'intrusion peuvent rétablir un parodonte sain et fonctionnel, avec des résultats psychologiques et esthétiques favorables. Après une thérapie parodontale appropriée, le traitement orthodontique peut restaurer l'os alvéolaire et les tissus mous parodontaux (47).

3.1.2 Aligneurs

3.1.2.1 *Historique*

L'ancêtre de l'aligneur est le « Tooth positioner » (81) (82), utilisé lors de la phase des finitions ou en contention post traitement orthodontique. C'est le concept de mouvements dentaires réalisés avec une série d'appareils élastiques fabriqués individuellement. Les gouttières thermoformées apparaissent avec Nahoum (1964) qui sont utilisées pour des mouvements plus élaborés (fermeture d'espaces, rotations). Ces mouvements étaient limités aux versions des couronnes et à de légères rotations pour aligner les dents (83). Entre temps, d'autres auteurs ont présenté des approches similaires (84) (85) (86) (87). Cependant, l'utilisation pratique de toutes ces procédures était limitée car les efforts techniques et financiers nécessaires à la fabrication en continu de nouveaux modèles étaient disproportionnels avec un succès potentiel.

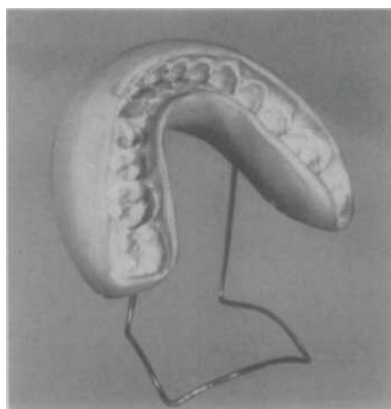


Figure 23 : Tooth positioner (82).

L'utilisation des aligneurs amovibles pendant le traitement orthodontique actif commença ces dernières décennies (88) (89). Depuis 1997, avec le développement du système Invisalign® par Align Technology (Santa Clara, Californie, États-Unis), les modèles de configuration individuels sont produits électroniquement par calcul informatique. La procédure est basée sur des empreintes en silicone ou numériques, prises sur les patients puis expédiées à Align Technology. La société crée des modèles à partir des impressions et les convertit à l'aide d'une procédure de balayage laser en images numériques en 3 dimensions. Les mouvements dentaires souhaités sont ensuite simulés sur un ordinateur et envoyés à

l'orthodontiste traitant. Si l'orthodontiste est satisfait du mouvement virtuel des dents, il confirme le résultat sur la plateforme du Clincheck®. Align Technology produit ensuite des aligneurs sur des modèles stéréolithographiques pour chaque étape du traitement. Ces aligneurs sont emballés et marqués individuellement, puis expédiés à l'orthodontiste (90). Invisalign®, disponible depuis 2001 en Europe, peut être considéré comme la référence pour des thérapeutiques orthodontiques modernes et innovantes appliquées aux adultes (89). Il permet de traiter les patients orthodontiquement « uniquement » avec des aligneurs.

De nos jours, différents matériaux sont utilisés pour réaliser des appareils thermoplastiques amovibles. Le plus souvent, Biolon® (Dreve Dentamid GmbH), Erkodur® (Erkodent) et Ideal Clear® (Dentsply GAC) sont utilisées (91). Les matériaux utilisés peuvent être mous (EVA : Ethylène acétate de vinyle), durs (PETG : Polythéréphtalate d'éthylène glycolisé) ou combinés (PETG+ TPU (Polyuréthane thermoplastique)) et sont biocompatibles (exigences de la Commission Européenne). Ils sont thermoformés sur des séries de modèles en plâtre ou en résine imprimés en 3D (*set-up*).

Idéalement, les aligneurs sont portés presque toute la journée, sauf pour le brossage des dents, pendant les repas ou la consommation de boissons qui tachent ou contiennent du sucre. Les gouttières Invisalign® sont composées de polyuréthane à poids moléculaire élevé de qualité médicale (USP classe VI), avec addition de méthylène diphényl diisocyanate et 1,6 hexanediol. Elles ne contiennent pas de bisphénol A ou de plastifiants au phtalate. Le polyuréthane n'est pas un matériau inerte mais il ne relargue aucun composant ce qui suppose que les gouttières seraient chimiquement stables (92).



Figure 24 : Photographie d'un aligneur Invisalign®.

Cette technique évolue continuellement en raison de la recherche et du développement dans les matériaux, les techniques de fabrication, les auxiliaires et dans la programmation informatique du mouvement dentaire. Les aligneurs d'aujourd'hui sont très différents de ceux disponibles il y a une vingtaine d'années. Ils sont commercialisés pour traiter tout type de malocclusions légères à plus graves.

De nombreuses marques d'aligneurs sont disponibles comme TwinAligner® d'Orthocaps, Smilers® de Biochtech Dental, MTM® ClearAligner (DentsplyGAC), ClearCorrect® ... mais la société Align Technology a presque un monopole sur le marché de cette technologie. En effet, elle est présente dans 103 pays et 136 millions de docteurs l'utilisent et pas moins de 27 produits différents sont actuellement proposés pour le traitement orthodontique (93).

3.1.2.2 Biomécanique

Plusieurs facteurs jouent un rôle déterminant dans le bon déroulement du mouvement dentaire : la forme et la position de l'attachement (94), le matériau utilisé, son épaisseur (95), (96), la quantité d'activation présente dans chaque aligneur (97), et les techniques utilisées pour leur fabrication (98). Il dépend également des caractéristiques du patient, de la densité et de la morphologie osseuse (99), de la morphologie coronaire et radiculaire des dents (100), de sa coopération ainsi que de facteurs liés au clinicien, tels que la précision avec laquelle sont effectuées les réductions interproximales.

Les aligneurs sont portés en moyenne 18 heures par jour et sont remplacés tous les 15 jours (85). Pour certains auteurs (Stutzmann J, Petrovic 1980, Owman-Moll P 1995), les forces « continues intermittentes » laisseraient des périodes de repos entre chaque rendez-vous permettant la prolifération cellulaire. Ce phénomène favoriserait les réactions tissulaires lors des activations suivantes. Cependant, ces périodes de repos doivent être inférieures au temps d'arrêt de l'activité ostéoclastique pour éviter toute nouvelle hyalinisation (Stutzmann et Petrovic). Or selon Hayashi H (2004), les forces intermittentes permettent un déplacement dentaire moindre que les forces continues en raison d'une récurrence du déplacement à chaque arrêt de la contrainte.

Les aligneurs transfèrent principalement les forces produites par le contact ponctuel entre l'appareil et la dent. Les forces requises pour le mouvement des dents peuvent être générées par la déformation locale et totale du corps de l'aligneur lorsqu'il est placé sur l'arcade dentaire. Cette déformation résulte d'un décalage entre la position réelle et la position prévue de la dent intégrée dans l'appareil. À l'ère du tout numérique, les *set-up* virtuels se veulent plus précis et rapide. Les gouttières sont fabriquées à partir d'une série de modèles où les dents ont été manipulées manuellement ou de modèles numériques sur lesquels les dents sont manipulées par un ordinateur ou des techniciens chez Invisalign® (101).

En créant le *set-up* idéal de fin de traitement à partir de l'empreinte numérique du patient, le nombre de gouttières nécessaire peut être déduit. Le *staging* est la progression pas à pas des mouvements dentaires de la position initiale à la position finale. Actuellement, les mouvements dentaires sont simultanés, mais la dent qui a la trajectoire la plus longue détermine le nombre d'étapes basé sur une matrice de vitesse utilisant un maximum de 0,25 mm / étape, 2 degrés pour les rotations et 1 degré pour le torque.



Figure 25 : Set up réalisés à partir du logiciel Orthoanalyzer (3shape) : prévisualisation numérique du résultat final idéal.

L'innovation est le ClinCheck®, une simulation en 3D qui permet aux patients et aux praticiens de voir un film sur l'ordinateur des mouvements dentaires du début à la fin du traitement (102). Certains types de mouvements sont favorisés par les attachements en composite qui, selon leur forme et leur position, déterminent les mouvements tels que l'ingression, l'égression, la rotation, le torque...

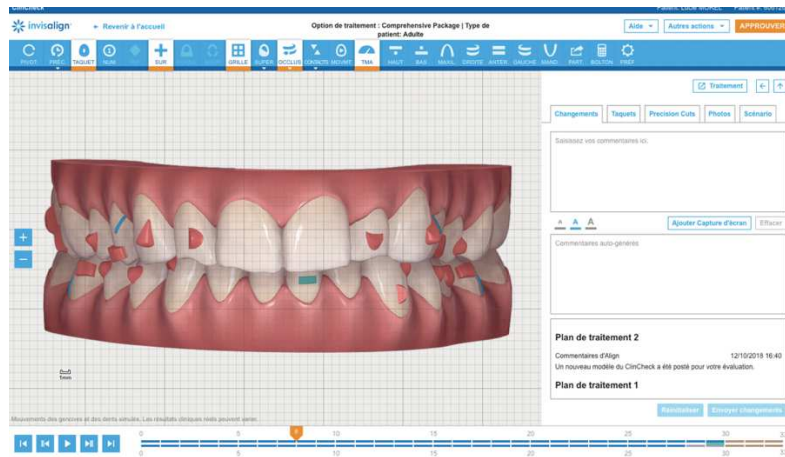


Figure 26 : ClinCheck® visible sur vip.invisalign.com après l'envoi des empreintes numériques et de la prescription orthodontique.

La recherche sur la mécanique des aligneurs et la variation des mouvements permet de développer les algorithmes informatiques utilisés pour le séquençage des mouvements dentaires. La société Invisalign® engendre une base de données qui permet la compréhension des mécanismes du mouvement dentaire permis par les aligneurs (103). Depuis 2013, le matériau utilisé est le *SmartTrack* qui réalise des mouvements dentaires sensiblement plus importants avec une phase courte de latence comparée aux autres matériaux disponibles sur le marché. Il fournit une force légère et « continue » pour une prévisibilité clinique et un confort du patient augmentés.

Le concept biomécanique reste le même qu'en orthodontie conventionnelle. L'orthodontiste doit contrôler le système d'application des forces. L'appareil essaye de contrôler l'ensemble des mouvements dentaires individuels de par l'utilisation d'auxiliaires comme les attachements, les *Power Ridges*... Ainsi, tous les mouvements pourraient être réalisés.

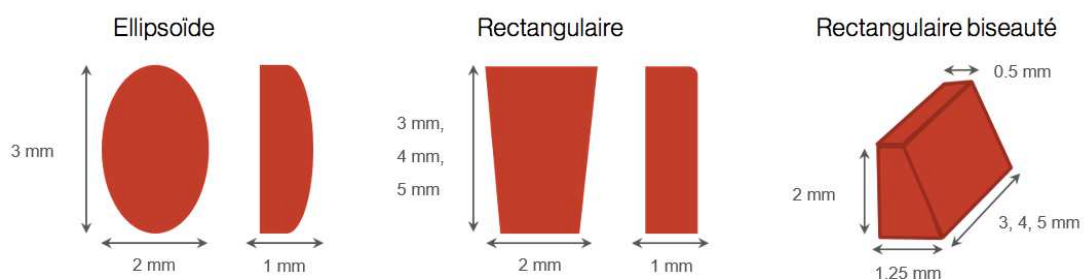


Figure 27 : Attachements ou Taquets Invisalign® collés sur la face vestibulaire dentaire.

L'attache ellipsoïde horizontale permet l'égression et sert de rétention lorsqu'elle est verticale. Le taquet rectangulaire horizontalement positionné est indiqué pour les mouvements d'ingression/égression et sert aussi de rétention ; celui verticalement positionné permet la rotation et le contrôle d'axe. Les taquets biseautés sont utilisés dans les cas de fort recouvrement (classe II division 2).

Des nouveaux attachements de précision (innovations *Smartforce* et *Power ridge*) ont été réalisés en fonction de la morphologie dentaire et du mouvement désiré pour améliorer le contrôle (du torque incisif, des axes radiculaires) et la précision des déplacements (rotations). Il existe des attachements optimisés d'ancrage, de rétraction... Depuis 2009, 7 nouvelles technologies ont vu le jour. La société met en avant l'invention d'un algorithme avancé qui détermine le chemin optimal du mouvement des dents et la forme de l'alignement à chaque étape d'un traitement Invisalign® (*SmartStage*). La version Invisalign® G7 en 2016 assurerait une prévisibilité de résultat supérieure et un changement hebdomadaire des aligneurs.

Fonctionnalité	Taquet de soutien optimisé			
Visuel	Disponible pour	Mouvement	Seuil de positionnement	Vélocité maximale
	Incisives latérales supérieures	N/A	Ingression > 1 mm sur la canine adjacente ou l'incisive centrale	0,25 mm / étape

Tableau 3 : Schéma représentant l'égression des 12 et 22 et l'ingression des 11 et 21 grâce aux taquets de soutien optimisés sur 12 et 22.



Figure 28 : Forces appliquées sur les taquets permettant le tipping mésiodistal de la 13 (à gauche) et photographie des taquets réalisés en composite (à droite).

Les contraintes développées à la surface des gouttières sont maximales le premier jour de port (104). Le déplacement dentaire prévu pour une gouttière se produit principalement durant les premières 24 heures. Cependant, l'utilisation d'auxiliaires (mini-vis, boutons, *Power arms*, élastiques...) reste obligatoire dans certains cas complexes. Un code couleur sur le Clincheck® informe le praticien sur la difficulté des mouvements dentaires à effectuer. Les pastilles bleues (rotation des prémolaires de 45° à 55° ; rotation de 5 à 30° pour les molaires ; ingression ou égression de 0,5 à 1mm pour les prémolaires ; ingression de 2,5 à 3mm pour les incisives ; mouvement radiculaire de 4 à 6mm) indiquent un mouvement modéré ; les noires, un mouvement avancé (mouvement d'ingression des incisives supérieur à 3mm, translation supérieure à 6mm, égression supérieure à 1mm, fermeture d'espace après extraction de prémolaires...). Ces derniers nécessitent un port d'une durée plus longue (deux semaines) ou l'aide de techniques supplémentaires. Un suivi très attentif est recommandé.

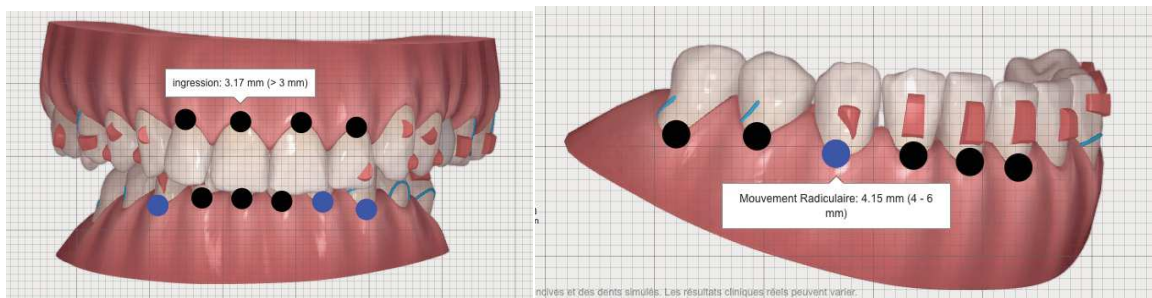


Figure 29 : À gauche, Clincheck®Pro avec des mouvements d'ingression dans le secteur antérieur supérieurs à 3 mm (mouvement avec une pastille noire) ; à droite, mouvement de translation « bleu » de la 43 estimé à 4,15mm.



Figure 30 : Power Arms® associés aux aligneurs pour tipper les racines dentaires (iconographie Dr Sebab Setbon).

3.2 Comparaison des aligneurs *versus* orthodontie conventionnelle

De nombreuses études au sujet des aligneurs sont réalisées avec ceux d'Invisalign[®], cette partie se basera essentiellement sur ces derniers pour comparer cette technologie avec l'orthodontie fixe. Un tableau récapitulatif des différents articles cités dans cette partie est disponible en annexe à la fin de cette thèse.

3.2.1 Santé parodontale

Les résultats d'une méta-analyse récente (2018) (105), dans laquelle 368 patients ont été inclus, ont montré qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre l'indice gingival (IG) et celui de la profondeur de sondage sulculaire (SPD), entre le groupe Invisalign[®] et le groupe témoin (appareil fixe), à 1, 3 et 6 mois. Le groupe Invisalign[®] a présenté un indice de plaque (IP) et indice de saignement sulculaire inférieurs (SBI) lors des contrôles. Les résultats de cette méta-analyse montrent que les patients traités par aligneurs ont une meilleure santé parodontale et sont plus propices à la maintenir.

Dans une autre méta-analyse (106), seulement 3 études sur 10 étaient des essais contrôlés randomisés et les 7 autres étaient des études de cohortes. Les résultats ont indiqué que les aligneurs permettaient des conditions de santé parodontale relativement meilleures (amélioration d'IP, IG et PD) par rapport aux appareils fixes. Cependant, les preuves étaient insuffisantes pour tirer une conclusion définitive sur la PD. Au contraire, Tuncer et Baylas (108) ont trouvé des différences significatives au niveau de la profondeur de la poche au sondage entre les appareils amovibles et fixes. Considérant que la modification de la PD prend du temps et que la durée moyenne du traitement orthodontique est de 19,9 mois (95% CI, 19,58 à 20,22 mois) (107), un suivi à long terme devrait être réalisé (plus de 20 mois) pour les études futures.

En 2015, Abbate et ses collaborateurs (109) ont étudié, pendant une année, 50 adolescents âgés de 10 à 18 ans présentant une anomalie orthodontique initiale similaire. Les indices parodontaux évalués étaient significativement plus bas et l'observance de l'hygiène buccale était significativement plus élevée dans le groupe traité avec Invisalign[®] que dans le groupe traité avec des brackets.

Comme le système Invisalign® est basé sur des appareils amovibles, l'attente des performances parodontales se veut supérieure.

Or selon Miethke et Vogt (57), seul l'indice de plaque des patients traités avec des appareils fixes étaient significativement plus élevés que ceux des patients traités avec Invisalign®. Ils n'ont trouvé aucune différence statistiquement significative au niveau de la profondeur au sondage, de l'IG et du PBI (l'indice de saignement papillaire) entre les deux groupes. L'état de santé parodontale était presque identique. Une explication possible pourrait être que tout clinicien peut avoir tendance à commencer un traitement orthodontique avec un appareil amovible même si l'hygiène buccale du patient n'est pas satisfaisante. Il est donc fort probable que le traitement de ces patients n'aurait pas été commencé s'ils avaient été candidats à des appareils fixes. La santé parodontale n'est pas compromise, même si les aligneurs couvrent toutes les surfaces dentaires et en partie la gencive kératinisée (susceptible d'augmenter l'accumulation de matière molle, favorable à une inflammation chronique).

Cependant, dans l'étude de Miethke et al (110), des différences significatives pour l'IP, l'indice gingival, l'indice de saignement papillaire et la profondeur au sondage sulculaire ont été observées entre les aligneurs et les appareils en technique linguale ($p < 0,05$). Ceci montre à quel point l'hygiène buccale est difficile lors du port d'un appareil lingual. Il se peut que des efforts plus importants de la part des patients ne conduisent à aucune amélioration. De toute évidence, leur santé parodontale au niveau des surfaces linguales dentaires est grandement compromise car elle n'est pas compensée par le nettoyage naturel et manuel permis en vestibulaire. Les patients Invisalign® ont donc des indices parodontaux favorables au maintien de la santé parodontale par rapport aux appareils fixes linguaux.

Cependant, les brackets linguaux sont de plus en plus miniaturisés ce qui laisserait l'opportunité aux patients d'améliorer leur hygiène buccale.



Figure 31 : Vue endobuccale après l'application d'un révélateur de plaque d'un traitement orthodontique par aligneur au maxillaire et en multi-attache vestibulaire à la mandibule (57).

Selon l'étude d'Azaripour (111), il existe des changements notables au niveau des paramètres parodontaux avec un traitement orthodontique qu'il soit fixe ou amovible. La plaque dentaire augmente dans les deux groupes mais les différences ne sont pas significatives. Les patients traités par Invisalign® présentent des troubles gingivaux significativement inférieurs par rapport à ceux traités par appareil fixe. Les valeurs IG et SBI n'ont pas augmenté chez les patients Invisalign® au cours du traitement orthodontique, tandis qu'elles ont été multipliées par 2 chez les patients ayant des appareils fixes.

Karkhanechi et al. (112) ont également signalé une détérioration de l'état parodontal avec les appareils fixes par rapport aux aligneurs. Des différences significatives pour l'IP, le BOP, l'IG et le PD ont été observées. Ces résultats sont à interpréter comme la conséquence d'un meilleur accès à l'hygiène bucco-dentaire grâce aux aligneurs. Ils suggèrent que le traitement fixe est associé à l'altération du statut parodontal en augmentant les indices parodontaux et stimulant la croissance des bactéries parodontopathogènes mais il ne contribue pas à une perte d'attache sur le long terme.

Low et al. (113), qui ont collecté et analysé des échantillons de biofilms à partir de surfaces d'aligneurs de 56 volontaires, n'ont trouvé aucune variation significative de l'indice de plaque pendant le traitement. Le biofilm commence à se former sur les bords surélevés ou les surfaces texturées des aligneurs. Les types de bactéries inclus dans le biofilm étaient associés à une faible risque de maladies parodontales (16) (18).

Le risque parodontal est donc faible lors d'un traitement par aligneurs. Cette conclusion est appuyée par Mazyar Moshiri (114) qui a étudié les effets néfastes d'une

mauvaise hygiène lors d'un traitement orthodontique par aligneurs. Il y a surtout un risque de déminéralisation de l'émail et donc carieux, mais le risque parodontal n'est pas supérieur par rapport au port d'un appareil fixe avec un mauvais contrôle de l'hygiène bucco-dentaire, c'est à dire avec une apparition d'une inflammation gingivale sévère possible mais réversible.

L'étude de Schaefer et Braumann (115) prouve que le traitement Invisalign® altère de façon minime la santé bucco-dentaire. Par conséquent, il semble inutile de recommander l'utilisation d'un bain de bouche à la chlorhexidine à faible dose pendant le traitement Invisalign®. Le traitement orthodontique par aligneurs ne veut pas dire que l'on puisse se passer d'un suivi régulier du patient. Il faut contrôler sa dextérité à maintenir une hygiène buccodentaire compatible avec un parodonte sain.



Figure 32 : Photographies endobuccales maxillaires avant (à gauche) et après (à droite) le port d'aligneurs sans hygiène buccodentaire adéquate : inflammation gingivale sévère et déminéralisation des bords occlusaux dentaires (114).

Dans une revue systématique, Rossini et al. (116) ont conclu compte tenu de toutes ces observations, que l'aligneur pourrait être indiqué chez des patients présentant une santé parodontale compromise.

Une étude comparative (78) a été réalisée chez des patients où un traitement parodontal combiné à un traitement orthodontique conventionnel a été comparé à un traitement par aligneurs. Les patients traités avec des appareils fixes avaient des problèmes d'hygiène buccale. Après traitement orthodontique, les paramètres cliniques des deux groupes se sont améliorés, en association avec une éducation minutieuse en matière d'hygiène buccale et un contrôle de plaque répété. Cette étude suggère que la combinaison

d'un traitement parodontal et orthodontique améliore la santé parodontale indépendamment de la technique utilisée.

Dans un essai clinique prospectif randomisé (117), aucune différence significative n'a été trouvée au sujet de l'hygiène buccale chez des sujets traités par aligneurs, brackets auto-ligaturants et brackets conventionnels avec des ligatures élastomériques après 18 mois de traitement orthodontique actif. Seul l'indice gingival était significativement différent entre le groupe des aligneurs et celui des brackets conventionnels à 9 mois. Cependant, à court terme, les participants du groupe des aligneurs ont obtenu de meilleurs scores IG et PBI que les groupes équipés en appareils fixes. Ces résultats concordent avec ceux de Levrini et al. (118) dans lesquels les patients traités avec système Invisalign® avaient une meilleure santé parodontale à court terme (3 mois) par rapport aux patients traités avec des appareils orthodontiques fixes.

Peu d'études ont évalué la microflore pathogène sous-gingivale via des analyses en temps réel de la réaction en chaîne de la polymérase (PCR) dans le cadre d'un traitement orthodontique fixe (119) (59) et il n'y a qu'un seul rapport préliminaire évaluant les données microbiologiques et parodontales relatives au développement du risque de maladie parodontale chez un patient traité avec des appareils fixes et amovibles (120). Après 30 et 90 jours de traitement, un seul échantillon contenant des bactéries anaérobies parodontopathogènes a été découvert chez un patient traité avec un appareil orthodontique fixe. Cette étude démontre que les appareils fixe et amovible n'augmentent pas le risque de maladie parodontale. Cependant, les appareils Invisalign® peuvent faciliter les procédures d'hygiène buccale, en maintenant un niveau plus bas de masse de biofilm microbien, même en cas de mauvaise observance de l'hygiène buccale, en minimisant les effets négatifs sur l'inflammation gingivale.

Or, selon l'étude de Petti S (121), l'état de santé parodontale est bon à 6 mois indépendamment du système orthodontique utilisé mais il existe bien un changement de la flore microbienne sous-gingivale avec les appareils fixes et le risque parodontal est à surveiller.

Ainsi, de nombreux chercheurs estiment que les aligneurs sont bénéfiques pour maintenir la santé parodontale par rapport aux appareils fixes conventionnels. L'utilisation d'un appareil

orthodontique amovible permettrait aux patients de maintenir une hygiène buccale adéquate mais aussi de réduire le risque de complications dentaire et parodontale. Chaque fois que l'appareil n'est pas en place, un auto-nettoyage physiologique a lieu comme dans toute denture naturelle. Invisalign® permet de réduire considérablement l'accumulation de plaque dentaire, améliorant ainsi l'hygiène buccale (122) (110) (112). Cependant, selon les auteurs, des différences existent entre les paramètres étudiés (l'indice de plaque, l'indice gingival, la profondeur au sondage et l'indice de saignement au sondage).

D'un point de vue clinique, ce traitement est une méthode plus sûre pour les tissus parodontaux que les techniques orthodontiques fixes (116). Compte tenu de ces résultats, Invisalign® peut être utilisé chez des patients présentant une santé parodontale médiocre ou un risque parodontal (112) (118). Cependant, le niveau de preuve est modéré. Plus d'essais cliniques randomisés sont nécessaires afin d'affirmer cette conclusion. Le nettoyage professionnel continu et répété et l'éducation à l'hygiène buccale sont les facteurs les plus importants pour le succès du traitement combiné parodontal et orthodontique (78).

3.2.2 Efficacité des mouvements dentaires et limites

Les progrès de l'évolution des brackets et des nouveaux alliages ont facilité l'exercice orthodontique mais ont aussi incité de nombreux cliniciens à négliger l'aspect biomécanique des traitements en laissant les fils décider des mouvements dentaires (Nanda R.). L'essor des aligneurs tend à standardiser le rôle du prescripteur dans les mouvements dentaires. Or, il faut comprendre leur biomécanique afin de rester maître d'un traitement réussi en contrôlant les forces appliquées. Les fils, les boucles et les dispositifs mécaniques fixes nous permettent de savoir à l'avance le système de force et les effets secondaires potentiels ; il faut en faire de même avec les aligneurs.

Avec les aligneurs, les mouvements 100% prévisibles sont limités et les effets parasites sont difficiles à anticiper. Certaines malocclusions nécessitent plusieurs réévaluations et peuvent impatienter et lasser le patient qui se voit obligé de porter plus de gouttières que prévues sans avoir la garantie d'obtenir le résultat voulu sur le ClinCheck® final. L'efficacité des aligneurs dépend du *staging* choisi et de la quantité totale de mouvement prévue. Les forces délivrées par les aligneurs décroissent de façon exponentielle. Elles sont

maximales le premier jour suivi par un plateau du 2^{ème} au 15^{ème} jour où elles diminuent. Avec un appareil fixe, les forces décroissent mais beaucoup plus lentement, le fil peut rester actif pendant quelques mois sans qu'il soit nécessaire de l'activer.

Selon la société californienne, Invisalign® peut efficacement effectuer des mouvements dentaires importants, tels que la dérotation (mesure du mouvement de « pivot mésio-distal » visible sur le Clincheck®) jusqu'à 55 ° et les mouvements radiculaires allant jusqu'à 6 mm (déplacement mésio-distal).

L'étude de Simon M. (103) a calculé la quantité de mouvement obtenue avec des aligneurs où les mouvements de torque et de dérotation étaient supérieurs à 10° et où la distalisation des molaires était supérieure à 1,5 mm. En moyenne, les résultats obtenus avec les aligneurs étaient de :

- 17,8° pour la dérotation de prémolaires avec attachement (valeur maximale attendue 30°) ;
- 20,1° sans attachement (minimale 12° et maximale 35°) ;
- 2,7 mm pour la distalisation molaire avec ou sans attachement (maximale 3,2 mm) ;
- 16,1° pour le torque incisif maxillaire avec attachement (maximale 28°) ;
- 15,9° sans attachement (maximale 30°).

L'efficacité moyenne des aligneurs, tout mouvement confondu, est de 59,3%. La distalisation molaire supérieure à 1,5mm est efficace à 87%. Les rotations supérieures à 15° sont difficiles à prévoir avec les aligneurs (23% de réussite contre 43% pour celles inférieures à 15°). Il vaut mieux réduire le *staging* prévu pour les rotations à moins d'1,5° (41,8% de réussite contre 23,2% avec un *staging* supérieur à 1,5°). La réussite de la dérotation dépend donc de la quantité totale à réaliser et du *staging*. C'est au praticien de juger de la quantité de mouvement qu'il veut obtenir.

Une différence significative entre le torque prévu (supérieur à 10°) et obtenu a été observée pour une incisive supérieure avec Invisalign® en mesurant une précision de mouvement de 51,5% avec Power Ridges® et de 41,9% avec uniquement des taquets ellipsoïdes.

Selon Tepedino M. (123), le nivellement, l'alignement, l'ingression et la distalisation des molaires maxillaires inférieure à 1,5 mm sont prédictibles à 100% avec les aligneurs. Le système d'aligneur étudié a été capable de produire des résultats cliniques comparables à la planification de la configuration numérique par rapport aux mouvements de torque des dents antérieures. Aucune différence statistiquement significative n'a été trouvée pour certaines dents antérieures entre les mouvements de torque prévus et obtenus. Le mouvement de torque maximal prévu était de 12,7° au maxillaire (moyenne de 2,6°) et de 20,8° à la mandibule (moyenne de 2,7°) pour les cas présentant un encombrement léger à modéré et ils ont été facilement obtenus cliniquement. Les différences entre le torque réalisé et voulu avec gouttière variaient de 0,03° à 1,86°. Tepedino M. a démontré que de petites quantités de mouvements pour une courte série d'aligneurs (12 aligneurs) peuvent être atteintes de manière prévisible.



Figure 33 : Superposition du modèle initial (en rouge) avec le set up final du mouvement de distalisation molaire (en bleu) (103).

Dans une étude rétrospective (95), une efficacité moyenne de 72,9% des mouvements de torque obtenus avec aligneurs a été trouvée, ce qui diffère des résultats de Simon et al. (efficacité de 51,5% pour des torques voulus supérieurs à 10° en utilisant les Power Ridges®). La prévisibilité moyenne des mouvements obtenus avec les aligneurs était de 73,6%. Le *tipping* mésiodistal a montré le plus de prévisibilité (82,5%) puis la version vestibulolinguale (72,9%) et enfin la rotation (66,8%).

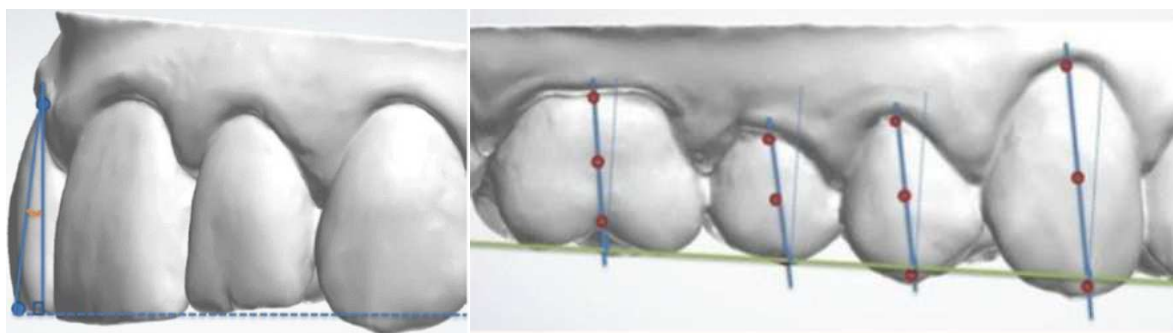


Figure 34 : À gauche : version vestibulolinguale : inclinaison de l'axe facial de la couronne clinique par rapport au plan d'occlusion ; à droite : tipping mésiodistal (95).

En particulier, le *tipping* mésiodistal des molaires supérieures (93,4%) et des prémolaires inférieures (96,7%) a été atteint avec la plus grande prédictibilité tandis que la rotation de canines inférieures était la moins efficace (54,2%). Sans l'utilisation d'auxiliaires (taquets, mini-vis, Power ridges®...), les aligneurs orthodontiques sont incapables d'obtenir un mouvement programmé avec une prédictibilité de 100%.

Selon Krieger E (124), les mouvements verticaux sont les plus difficiles à réaliser et une surcorrection doit être prévue lors de l'élaboration du ClinCheck®. En moyenne, une différence de 0,9 mm entre l'*overbite* obtenu cliniquement et prévu (sur le ClinCheck® final) fut calculée (3,3mm d'*overbite* obtenu au lieu des 2,4 mm prévus) ce qui correspond seulement à 14,3% de concordance. Selon Joffe et Kravitz (125), il est plus dur de déplacer les dents dans le sens vertical que sagittal avec Invisalign. En 10 mois de traitement, l'*overjet* fut réduit en moyenne de 1,7 mm (de 4,5mm à 2,8 mm) et l'*overbite* de 0,5 mm (de 3,8 à 3, 3 mm). Le ClinCheck® final montre des résultats meilleurs que ceux obtenus cliniquement.

La prévisibilité des mouvements dentaires effectués par les aligneurs varie selon les études. Par exemple, lorsqu'une intrusion incisive de 2,19 mm est voulue dans un ClinCheck®, celle obtenue cliniquement est de 1,49 mm, ce qui donne une différence moyenne de 0,71 mm et une précision d'intrusion moyenne de 73% (126).

Selon Weiland FJ (127), une réduction de la supraclusion en technique arc droit de 3,17 mm (on passe d'un *overbite* de 5,39 mm à 2,22 mm) et de 3,56 mm (d'un *overbite* de 6,10 mm à 2,54 mm) en technique segmentée est possible (sans égression des molaires postérieures

avec cette dernière). Kravitz (125) a observé une ingression moyenne du secteur antérieur possible par aligneurs de 0,72mm et une précision moyenne de 41,3%. Les mouvements d'égression furent réussis dans 29,6% des cas seulement (0,56 mm en moyenne (128)). Deux études ont trouvé un pourcentage de réussite supérieur (79% à 84%) pour les mouvements verticaux permis par aligneurs (129) (141).

Afin de prendre en charge les mouvements verticaux planifiés des dents antérieures, Boyd (89) et le fabricant Align Technology recommandent l'application de taquets bilatéraux d'1 mm d'épaisseur (dimension bucco-linguale), biseautés horizontalement dans la région prémolaire pour améliorer la rétention de l'aligneur. Ces mouvements peuvent également être réalisés par des élastiques intermaxillaires. Un traitement supplémentaire avec un appareil fixe vestibulaire peut s'avérer nécessaire dans certains cas pour atteindre l'objectif de traitement souhaité (130) (131).

Selon Rossini (128), 36% des cas de rotations canines sont accomplies et le taux de réussite monte à 43% dans les cas où l'on associe une réduction interproximale. Le *tipping* réalisé en moyenne est de 17° (Baldwin et al.), 41% des cas sont réussis surtout au niveau des incisives latérales mandibulaires (49%). Selon Lombardo (95), les rotations des canines mandibulaires ne sont pas des mouvements prédictibles mais les aligneurs sont efficaces pour réaliser le *tipping* des molaires et prémolaires.

Djeu (131) observe de meilleurs résultats de contrôle de version vestibulo-linguale, autrement dit de torque, avec les appareils fixes comparés aux aligneurs. Le torque corono-palatin (TCP) des incisives maxillaires est plus réussi (53%) par rapport au torque corono-vestibulaire (38%) (125). Zhang et al. (132) ont assemblé les informations des modèles numériques avec les images acquises par le CBCT pour évaluer les positions des couronnes et des racines lors de la réalisation de mouvements antérieurs. Les aligneurs permettent un déplacement coronaire important et une petite quantité de mouvement radiculaire. Cependant, les aligneurs n'avaient pas de Power Ridge®.

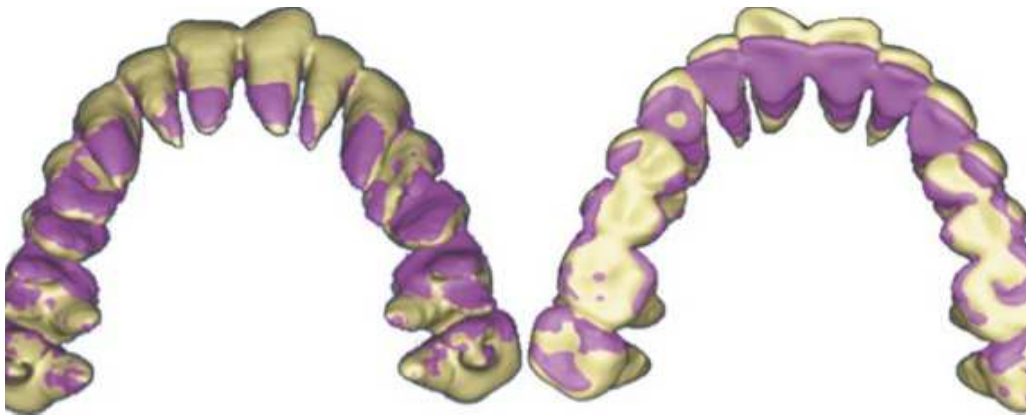


Figure 35 : À gauche vue inférieure de l'arcade maxillaire ; à droite vue occlusale de l'arcade maxillaire : superposition des CBCT avant traitement (en jaune) et après traitement (en violet) ; on observe peu de mouvements radiculaires (132).

Selon Hahn W (100), les forces et moments mesurés sont supérieurs à ceux recommandés dans la littérature mais les effets indésirables biologiques potentiels restent incertains. Dans l'étude expérimentale de Simon M (133), les moments moyens initiaux générés ont été mesurés dans le groupe de dérotation des prémolaires, qu'elles soient supportées par un taquet (8,8 N.mm) ou non (1,2 N.mm), pour le torque des incisives maxillaires (6,7 avec un taquet ellipsoïdal et 7,9 N.mm avec les Power Ridges®) et pour la distalisation molaire (1 N avec attachement et 0,8 N sans). Mais il ne faut pas oublier que ces mesures expérimentales sont réalisées sur un *set up* sans ligament parodontal, ni force masticatrice, ni salive, ni réaction tissulaire et sont basées sur la présomption d'une relation linéaire entre la vitesse du mouvement dentaire et la quantité de la force appliquée, ce qui est limitée par la compliance du patient dans la réalité clinique.



Figure 36 : Power Ridges® : lignes de pressions proches de la gencive marginale permettant le torque au niveau du secteur incisif.

La dérotation des dents cylindriques est décrite comme l'un des mouvements les plus critiques à réaliser avec les appareils amovibles (134). La dérotation des prémolaires doit être soutenue par un taquet, surtout si ces dents ont une couronne courte et peu de contre-dépouilles. Sinon, le transfert de moment de la gouttière à la dent n'est possible que dans une mesure limitée. Or, ceci est contradictoire avec les résultats vus précédemment où la quantité de rotation obtenue avec ou sans attachement était quasi identique (103). Hormis quelques systèmes de forces initiales maximales, les forces et les moments générés par les aligneurs du système Invisalign® se situent dans la plage des forces orthodontiques. Le changement de force est exponentiel lorsqu'un patient porte des appareils thermoplastiques amovibles.

Même si le ClinCheck® prévoit des mouvements dentaires constants, il existe dans certains cas une grande diversité parmi les systèmes de force initiaux : des différences d'1 à 15 N. mm ont été observées pour les moments initiaux entre certains aligneurs consécutifs (133). Un aligneur avec un système de force initiale élevée était souvent suivi d'un aligneur avec un système de force faible dans les trois catégories de mouvement. Ainsi, le mouvement dentaire résultant n'était pas constant alors que le ClinCheck® prévoit un mouvement continu.

Comme le montre une revue de littérature systématique de Ren et al. (77), aucun niveau de force orthodontique optimal fondé sur des preuves ne peut être déterminé. L'influence exacte de la position et de la forme du taquet sur le transfert de force et le contrôle radiculaire reste à examiner. Certains auteurs ont signalé que seuls les mouvements de version et d'ingression peuvent être effectués par les aligneurs (135). Or, ces derniers peuvent fournir a priori des systèmes de force nécessaires afin de réaliser les mouvements de torque. L'efficacité des transferts de force sur les dents et les mouvements *in vivo* qui en résultent doivent être étudiés dans de futures études.

La revue systématique plus récente de Papadimitriou (136) insiste sur l'absence de protocole standardisé et sur la grande hétérogénéité clinique et méthodologique des études qui empêchent une interprétation valable des résultats et l'établissement d'une méta-analyse sur l'efficacité des aligneurs. Cependant, le système Invisalign® constitue une alternative viable au traitement orthodontique conventionnel pour la correction des malocclusions

légères à modérées chez les patients chez qui la croissance est terminée et où les extractions ne sont pas nécessaires.

D'autre part, les aligneurs ont une action limitée pour réaliser l'expansion postérieure de l'arcade maxillaire, la fermeture des espaces post-extractionnels (contrôle de l'inclinaison des axes radiculaires), corriger les contacts occlusaux et les écarts antéro-postérieurs et verticaux importants (contrôle de l'*overbite* et de l'égression). Il existe toujours une certaine divergence entre la configuration numérique et le résultat clinique réel. La déformation de la gouttière produit des zones de contact avec les dents et des espaces où l'aligneur ne touche pas les surfaces des dents, ce qui réduit la réalisation des mouvements (137). Au fur et à mesure que l'on change de gouttière, l'ajustement entre celle-ci et les dents devient progressivement moins adapté car les mouvements ne se sont pas correctement réalisés. Les mouvements dentaires sont limités car les aligneurs transfèrent principalement les forces produites par le contact ponctuel entre l'appareil et la dent au niveau occlusal et dans une moindre mesure au niveau cervical (91). De plus, les aligneurs ne peuvent être utilisés dans les cas de fortes mobilités ou d'inclinaisons dentaires.

Il n'y a pas de consensus sur les indications d'un traitement par aligneurs (138). Les traitements orthodontiques par gouttières seraient moins efficaces et nécessiteraient souvent le recours aux techniques multi-attaches de façon transitoire pour traiter les cas complexes (128). Ils ne corrigeraient donc pas aussi bien les malocclusions que les brackets conventionnels (131). Le débat reste ouvert, notamment en ce qui concerne les mouvements dentaires complexes.

Bien qu'il soit démontré que l'alignement, le nivellement ainsi que la distalisation supérieure à 1,5mm des molaires maxillaires soient des mouvements prédictibles, les mouvements d'égression, de rotation et de torque sont difficiles à obtenir (128) (138) (137) (103). Les aligneurs auraient des résultats supérieurs en terme d'alignement des arcades par rapport aux appareils fixes pour les cas d'encombrement léger à modéré (139) (140) (141). Cependant, la majorité des études présentaient des risques de biais importants.

Pour conclure, il reste beaucoup à apprendre sur leur biomécanique et leur efficacité (125) (140). Dans la revue systématique de Zhen M (142), aucune étude permet d'affirmer

que les résultats obtenus après un traitement par aligneurs sont inférieurs ou supérieurs par rapport à ceux obtenus après un appareil fixe.

3.2.3 Stabilité du traitement et récurrence

La contention, destinée à maintenir la position des dents corrigées, est devenue l'une des phases les plus importantes du traitement orthodontique. La contention peut être provisoire (minimum 12 mois (79)) ou définitive si les tissus de soutien présentent de faibles capacités de résistance (en cas de parodonte réduit) ou si l'équilibre physiologique n'est pas rétabli. Cependant, 10 ans après la fin du traitement orthodontique, seuls 30 à 50% des patients ayant reçu un traitement orthodontique conservent efficacement l'alignement satisfaisant initialement obtenu. Après 20 ans, l'alignement satisfaisant est réduit à 10%. En cas de récurrences, des stratégies simples et efficaces sont nécessaires pour gérer efficacement le problème (143).

Il a été démontré que les traitements orthodontiques par gouttières semblent récidiver davantage que les traitements fixes selon une étude menée par Kuncio sur un petit nombre de cas (144). La récurrence après un traitement par aligneurs concernerait plus les incisives maxillaires alors qu'au niveau de l'encombrement mandibulaire, elle est identique indépendamment de la méthode utilisée. Selon Zheng M (142), cette récurrence serait expliquée par l'activation trop fréquente qui peut endommager les dents ou l'os en prenant de court le processus de réparation osseuse. Il serait possible que la durée des 2 semaines d'intervalles soit trop courte et conduirait à la formation d'un os de faible qualité et à la récurrence même si la résorption osseuse nécessite 7 à 14 jours comme le ligament parodontal. De plus, l'inocclusion postérieure à la fin d'un traitement par aligneurs peut être source d'instabilité.

3.2.4 Douleur

Les aligneurs Invisalign® améliorent l'esthétique, l'hygiène buccale mais ils réduisent aussi la douleur pendant le traitement orthodontique (145) (89). Les contraintes développées à la surface des gouttières sont maximales le premier jour de port, puis diminuent le deuxième jour et se stabilisent dans une phase de plateau jusqu'au 15^{ème} jour (104). 54 % des patients ne se plaignent d'aucune douleur après 2, 3 jours de port d'une nouvelle gouttière. 35 % ne ressentent aucune douleur (102).

Une étude récente a révélé un inconfort plus important et une consommation plus élevée d'analgésiques avec des appareils fixes conventionnels par rapport aux aligneurs Invisalign® (146). La douleur atteignait son maximum entre le premier et le troisième jour du traitement conventionnel et elle diminuait progressivement au cours des quatrième et cinquième jours. Ils ont enregistré leurs niveaux d'inconfort au repos, en mastiquant et les troubles du sommeil qui en résultent. Les patients avec les appareils fixes ont signalé une gêne nettement supérieure ($p < 0,05$) à celle des patients portant des aligneurs au cours de la première semaine de traitement actif. Il y avait beaucoup plus de gêne lors de la mastication qu'au repos.

Miller et al. (145) ont constaté que les patients ressentaient une douleur réduite avec les aligneurs Invisalign® par rapport aux appareils fixes pendant la première semaine de traitement orthodontique. Selon l'étude d'Almasoud (147), les patients traités avec Invisalign® ont signalé une douleur moins intense que ceux traités avec des appareils fixes auto-ligaturants passifs au cours de la première semaine de traitement. Le score EVA moyen pour le groupe Invisalign® était significativement inférieur à celui du groupe des appareils fixes à différents intervalles au cours de la première semaine de traitement. L'intensité de la douleur, due à une réponse inflammatoire aiguë, avec les deux appareils a culminé à 24 heures (1,38 pour les aligneurs et 6 pour les appareils fixes) et était la plus faible le septième jour (0,41 pour les aligneurs et 2,69 pour les appareils fixes). Pour les deux groupes, l'intensité de la douleur a progressivement diminué au cours de la première semaine. De plus, l'utilisation d'analgésiques était moins fréquente chez les patients traités avec des aligneurs que chez ceux traités avec des appareils fixes.

Depuis 2013, Invisalign® a développé le SmartTrack®, un nouveau matériau qui offre une prédictibilité et un ajustement supérieurs par rapport au matériau précédent. Selon les études réalisées en interne, il délivre une force plus légère et continue en optimisant la vitesse de mouvement pour améliorer le remodelage osseux (148) (141). Dans l'étude de Bräscher AK (149), 72 patients ont été interrogés (68% de femmes, 32% d'hommes, d'âge moyen : $29,3 \pm 9,2$ ans). Ils ont porté le nouveau matériau pendant environ 6 mois et ont rempli un questionnaire avec 25 éléments comparant l'ancien et le nouveau matériau en termes de douleur, pression à l'insertion, confort, irritation des muqueuses, phonétique, décoloration et goût. Le SmartTrack® a été évalué par les personnes interrogées comme causant

considérablement ($p < 0,001$) moins de douleur maximale que l'ancien matériau (2,8 contre 3,8). Des réductions significatives ont été obtenues pour la durée de la douleur ($p < 0,001$) et la durée de la pression (2,5 *versus* 1,9 jours ; $p = 0,001$) lors de l'insertion des aligneurs. Plus de 90% des personnes interrogées ont indiqué ressentir une douleur moindre ou égale en mangeant, ont estimé que le nouveau matériau offrait un meilleur ajustement des aligneurs sur les surfaces dentaires et des indices plus favorables en termes de dégradation, de durabilité et de décoloration. Un confort amélioré a été rapporté par la moitié des personnes interrogées. Le nouveau matériel a été évalué favorablement par les patients et a montré des réductions significatives de la douleur (en intensité et en durée) ainsi qu'une réduction de la pression à l'insertion.

3.2.5 Esthétique

Un sourire esthétique est un aspect important de la réhabilitation, qui implique une fonction psychique souvent sous-estimée (150). Pour de nombreux patients, les considérations esthétiques pendant le traitement sont aussi importantes que d'autres facteurs, tels que le confort, la douleur, la durée du traitement ou le coût (151). Une étude allemande réalisée en 2003 (152) analyse le profil des patients intéressés par un traitement orthodontique. Cette étude révèle un profil caractéristique : féminin (72%), et jeune (entre 20 et 29 ans). Les patients sont motivés pour un traitement orthodontique pour des raisons esthétiques (97%) ; par ailleurs 40% d'entre eux recherchent également une santé bucco-dentaire à long terme et une amélioration des fonctions de phonation et de mastication. Mais seulement 3% ont pour unique motivation une bonne santé bucco-dentaire à long terme. La majorité (62%) refuse le désagrément esthétique des appareils multi-attaches en position vestibulaire et les problèmes d'élocution liés à l'appareil lingual.

Les gouttières permettent un traitement orthodontique discret, compatible avec la vie sociale et professionnelle. Même en cas d'extraction, la dent sera remplacée par un moyen de substitution au sein de la gouttière (comblement de résine). Les appareils thermoplastiques amovibles peuvent être utilisés chez les patients comme une alternative moins visible aux appareils de traitement orthodontiques conventionnels (91). Selon Azaripour (111), plus de patients avec appareillage fixe que de patients Invisalign® ont déclaré souffrir d'inhibition du rire pour des raisons esthétiques (26% contre 6%, $p = 0,012$), alors que

98% des patients Invisalign® seraient disposés à suivre le même traitement, et 78% pour les patients avec appareils fixes ($p = 0,004$).

Depuis son développement, la technologie Invisalign® est établie dans le monde entier en thérapie orthodontique en tant qu'alternative esthétique aux appareils vestibulaires fixes (89) (125) (88) (152).

3.2.6 Confort

Dans l'étude de Shalish (151), le dysfonctionnement oral, les troubles de l'alimentation, les paramètres d'activité générale et les symptômes oraux ont été évalués dans 3 groupes (appareils fixes vestibulaire, lingual et aligneurs). Les appareils linguaux étaient associés à une douleur et une consommation d'analgésiques plus sévères, au plus important dysfonctionnement oral et général et au rétablissement le plus difficile et le plus long. Les patients Invisalign® se sont plaints de douleurs relativement fortes au cours des premiers jours suivant l'insertion. Cependant, ce groupe était caractérisé par le niveau le plus faible de symptômes buccaux et par un niveau similaire de troubles de l'activité générale et de dysfonctionnement buccal par rapport à l'appareil vestibulaire. De nombreux patients appareillés en lingual et certains patients ayant un appareil fixe vestibulaire ne s'étaient pas complètement rétablis de leurs difficultés à s'alimenter à la fin de la période d'étude (14 jours après la pose d'appareil).

Les problèmes retrouvés dans le groupe des aligneurs peuvent être regroupés en 3 catégories : le bord marginal non lisse ou matériaux manquants, déformation des attachements et déformation de l'aligneur. Cette dernière est la plus souvent signalée (153).

De plus, les aligneurs sont mieux tolérés par les patients qui peuvent avoir un accès à toutes les surfaces dentaires durant le brossage. Une santé orale possible sans trop de difficulté pendant un traitement orthodontique est confortable pour le patient. En étudiant la santé bucco-dentaire, Schaefer et Braumann (115) ont indiqué que, sur une durée d'utilisation de 8 mois, les aligneurs n'entraînaient qu'une altération minime de la qualité de vie associée.

Selon Azaripour A (111), le questionnaire sur la qualité de vie a révélé que les patients Invisalign® rapportaient moins d'altération du bien-être général par rapport aux patients ayant

des appareils fixes (6% contre 36%, $p = 0,001$). 70% des patients ayant un appareil fixe (AF), contre 50% des patients Invisalign®, ont indiqué que leurs habitudes alimentaires avaient changé pendant le traitement orthodontique ($p = 0,066$). Dans le groupe des aligneurs, certains patients rapportaient la difficulté de respecter le port des 22 heures par jour. Les patients du groupe AF ont déclaré devoir se brosser les dents plus souvent (84% des patients contre 52% des patients avec Invisalign®, $p = 0,001$), sachant que 50% des patients des deux groupes utilisaient une brosse à dents électrique. Les patients AF ont signalé davantage d'irritations gingivales que les patients Invisalign® (AF : 56% ; Invisalign® : 14% ; $p = 0,001$). Les patients AF ont passé en moyenne $3,7 \pm 1,7$ min en brossage alors que les patients Invisalign® ont déclaré se brosser les dents en moyenne pendant $2,2 \pm 1,2$ min. Les patients AF ne changeaient pas de brosse à dents aussi souvent que les patients Invisalign®. Les aligneurs sont considérés plus doux pour le tissu gingival que l'appareil fixe. De plus, l'absence de bague et de fil évite les urgences liées au décollement et aux bris de matériel.

3.2.7 Rapidité de traitement et temps passé au fauteuil

D'après des études prospectives menées en milieu universitaire en 2016, un traitement orthodontique fixe complet nécessite en moyenne moins de deux ans (20,02mois) (107). Le nombre moyen de visites requises est de 17,81.

Sur leur site internet, la société Invisalign® met en avant la réduction du temps de traitement de 50% afin de retrouver un beau sourire en 3 mois minimum grâce au changement hebdomadaire des aligneurs. Cependant, elle précise que cela revient à la décision du praticien de juger si les gouttières peuvent être portées 7 ou 14 jours. Aucun consensus n'est établi sur le changement hebdomadaire des gouttières et c'est à l'orthodontiste de décider de la prescription.

Dans la méta-analyse de Zheng M (2017), la durée du traitement par aligneurs est plus courte seulement lorsqu'ils sont utilisés pour des malocclusions légères à modérées. Djeu (131) a constaté que le temps de traitement pour le groupe des appareils fixes (1,7 ans) était significativement plus long que pour le groupe Invisalign® (1,4 ans). Buschang (154) a constaté que la durée du traitement Invisalign® était 67 % plus courte que celle d'un traitement

conventionnel fixe. Le traitement par aligneur a duré 11,5 mois, alors que le traitement conventionnel nécessitait 17 mois, mais cela pourrait être expliqué par la présence de cas plus difficiles à traiter dans le groupe des appareils conventionnels. Le traitement fixe a nécessité ($p < 0,01$) plus de visites (environ 4,0), une durée de traitement plus longue (5,5 mois), plus de visites d'urgence (1,0), une plus grande durée en fauteuil d'urgence (7 minutes) et une durée totale passée au fauteuil plus longue (93,4 minutes). Cependant, les aligneurs représentent des coûts totaux de matériel significativement plus élevés ($p < 0,01$) et exigent beaucoup plus de temps total de l'orthodontiste ($p < 0,01$). Cependant, Baldwin et al. signale que, dans les cas d'extractions de prémolaires, le traitement par aligneurs suivi d'un traitement avec un appareil fixe prenait plus de temps que le traitement avec un appareil fixe seul.

Selon Han JY (78), la durée de traitement du groupe avec des appareils fixes ($4,16 \pm 1,71$ mois) était plus courte que celle du groupe des aligneurs ($6,03 \pm 2,34$ mois) ($p < 0,05$). Tous les patients présentaient un défaut minime d'alignement mineur antérieur ou des MPD minimales au niveau des incisives maxillaires ou mandibulaires sans signe d'effondrement postérieur.

Pavoni et al. (155) ont comparé le traitement orthodontique avec des brackets auto-ligaturants et des aligneurs et n'ont trouvé aucune différence dans la durée du traitement entre les groupes (1,8 ans pour les deux groupes), indiquant que le traitement par aligneur n'était pas plus rapide que les appareils fixes. Ces résultats confirment ceux trouvés par l'étude d'Azaripour (111), où le traitement orthodontique a été réalisé pendant $12,9 \pm 7,2$ mois chez les patients avec un appareil fixe et $12,6 \pm 7,4$ mois chez les patients Invisalign®.

3.2.8 Satisfaction

De nos jours, un beau sourire change la perception que les gens ont d'eux-mêmes, ce qui affecte leurs relations sociales. Dans ce contexte, l'orthodontie joue un rôle important en permettant des améliorations, non seulement à l'égard de la santé bucco-dentaire mais aussi de la qualité de vie en général (150). Les patients traités avec Invisalign® étaient plus satisfaits que ceux traités par appareils fixes (111).

L'acceptation du système Invisalign® peut être attribuée à la grande adaptabilité des patients à l'appareil et à la satisfaction des progrès et des résultats du traitement (102).

3.3 Traitement des migrations secondaires par aligneurs : étude de cas dans la littérature

Le mouvement d'ingression est souvent le plus indiqué lorsqu'une dent antérieure apparaît allongée suite à une perte d'attache parodontale (76). Dans la littérature, des articles récents ont été écrits à propos de traitements orthodontiques effectués par aligneurs sur des dents au parodonte réduit. Cliniquement, une diminution de la profondeur au sondage, de la mobilité, des récessions gingivales et du niveau d'attache clinique (distance entre la jonction émail-cément et le fond de la poche) sont constatés. Radiographiquement, la dimension du défaut infra-osseux est réduite (verticalement et horizontalement) (156). L'idée d'un comblement osseux reste controversée.

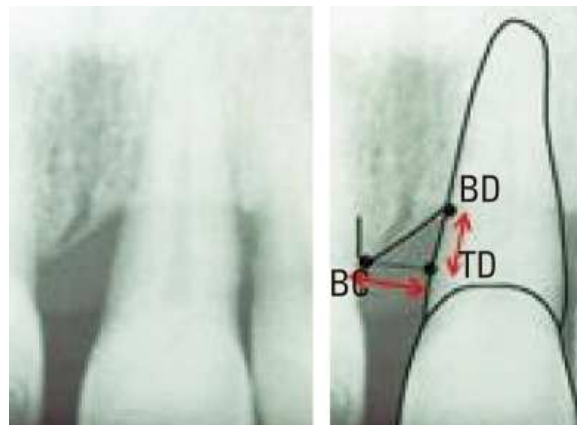


Figure 37 : Mesures radiographiques; BC : crête osseuse ; BD : point le plus apical du défaut osseux ; TD : projection de la crête osseuse sur la surface radiculaire ; TD-BD : dimension verticale ; BC-TD : dimension horizontale de défaut osseux (156).

En 6 semaines, le défaut vertical (TD-BD) au niveau de la 11 est passé de 5,8 mm à 5 mm et horizontal (BC-TD) de 2,7 à 2,3 mm. La profondeur de poche au sondage, le niveau d'attache clinique, la récession gingivale ainsi que la mobilité dentaire diminuent. Cliniquement, la PPD diminue d'1 mm et on obtient un gain d'attache clinique de 2 mm.



Figure 38 : À gauche avant traitement par aligneurs, à droite après traitement par aligneur : diminution des dimensions du défaut osseux chez un patient de 50 ans après 6 semaines de traitement (156).



Figure 39 : À gauche avant traitement par aligneurs ; à droite : 6 semaines après (156).

Le deuxième cas d'un traitement d'une MPS au niveau d'une 21 montre une diminution du défaut vertical de 2,1 mm (de 6,7 à 4,6 mm) et de 0,7 mm (de 3,9 à 3,2 mm) du défaut horizontal. Enfin, le troisième montre un gain d'attache clinique d'1mm ainsi qu'une diminution d'1 mm au niveau de la récession gingivale. Cependant, la mobilité ainsi que la PPD ne changent pas avant et après traitement au niveau de la 11 et 21 après fermeture du diastème.

Selon Jun-Woo Lee, l'aligneur pourrait être une option de traitement utile pour les patients souffrant de migrations pathologiques secondaires. Le traitement orthodontique Invisalign est idéal pour les patients présentant des problèmes parodontaux et ayant des maladies systémiques. Il permet de remplacer un plan de traitement implanto-prothétique complexe peu recommandé chez certaines personnes. L'amovibilité assure le contrôle de

l'hygiène buccale normale, mais requiert également la coopération du patient pendant le traitement (150).

Deepa (157) décrit les bénéfices de réunir les thérapeutiques parodontale, orthodontique et endodontique afin de traiter une MPS d'une 22 suite à une maladie parodontale chronique. Après 6 mois de traitement par aligneurs, la 22 fut réalignée et ingressée, le défaut osseux fut réduit, il y a eu un remaniement de l'os alvéolaire et des tissus mous parodontaux. A 3 ans *post* traitement, il y a une réduction complète de la poche parodontale avec un remodelage/remplissage osseux significatif, une réduction de la mobilité dentaire et un réalignement de la 22.

4 Cas clinique au CSD

Au centre de soins dentaires de Nantes (hôpital Hôtel Dieu – CHU de Nantes), certains patients ayant reçu un traitement parodontal souhaitent, lors de leur phase de maintenance, un réalignement de leurs dents ayant subi des migrations pathologiques secondaires. Dans le service d'orthodontie, nous proposons 4 types de traitements. Le coût des traitements fixes conventionnels métallique et céramique (partiel ou bi-maxillaires) est compris entre 1000 et 2500 euros, le traitement lingual complet (3 400 euros) et le traitement par aligneurs Invisalign Lite® ou Full® entre 2 500 à 3 500 euros. Souvent, à la fin d'un traitement parodontal, peu de personnes peuvent ou souhaitent investir autant d'argent « pour réaligner une ou deux dents » et le montant des devis effrayent les patients qui s'orientent vers des soins esthétiques en odontologie conservatrice et /ou prothétique.

La mise en place d'un circuit interne court pour créer nos propres gouttières fut émise par le Pr. Badran Z. qui permettrait de proposer, aux patients demandeurs, un traitement orthodontique de réalignement à moindre coût.

Madame B. fut la première patiente bénéficiant des gouttières faites au sein du service. Elle a subi un traitement parodontal avec une greffe au niveau de sa 21 (Figure 40) en 2017-2018 afin de stabiliser sa parodontite chronique généralisée modérée. La patiente souhaitait réaligner sa dent avec les autres par souci esthétique mais aussi car elle avait « peur

que sa dent puisse tomber ». Les empreintes numériques furent réalisées grâce à la caméra optique CARESTREAM 3600S® du CSD. Elles sont enregistrées en format STL (STéréoLitographie) lisible sur différents types de logiciel comme Meshmixer® (Figure 41). La réalisation des *set up* numériques fut possible grâce au logiciel Orthoanalyzer® (Figure 42) de 3 Shape® (avec la courtoisie du Dr. Lanoiselee). La forme et la position des taquets à poser furent décidées selon le mouvement que l'on souhaitait réaliser. Deux taquets rectangulaires horizontaux sur la 11 et 22 favorisent l'ingression de la 21. Celle-ci devait être ingressée de 2 mm ce qui engendrait la confection de 10 gouttières car le *staging* est de 0,2mm/gouttière. L'impression en 3D des modèles fut possible grâce au laboratoire Bongert basé sur La-Rochesur-Yon (avec la courtoisie de Gourrier Yannick) après l'envoi des *set up* en format ouvert STL. Le prothésiste effectue la modélisation numérique de ces derniers (le soclage, la numérotation...) qui peut être réalisée grâce à Meshmixer®. L'impression peut être réalisée grâce à la plateforme Preform® (Figure 43) si l'orthodontiste a une imprimante 3D au cabinet (Formlab® au CHU).



Figure 40 : Vue endo-buccale avec diastème entre 11 et 21 et MPS de 21.

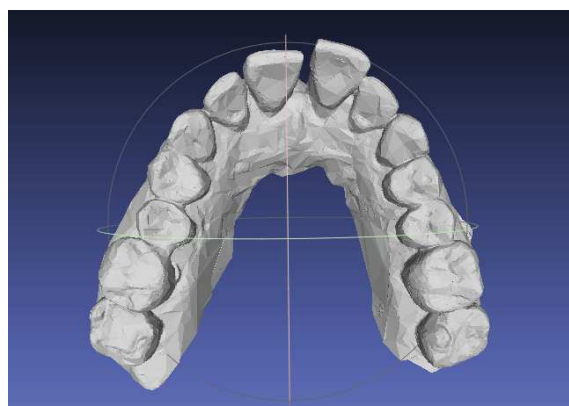


Figure 41 : Empreinte numérique maxillaire format STL (logiciel Meshmixer®).

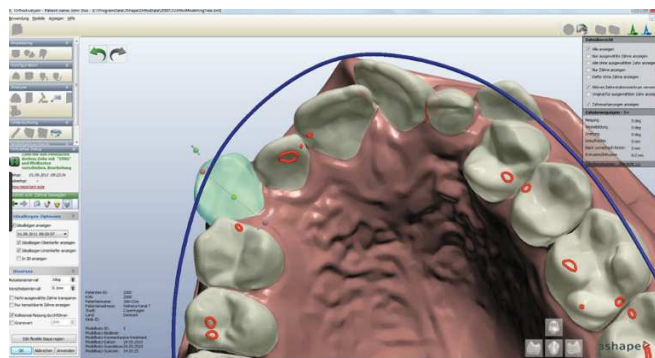


Figure 42 : Réalisation des set-up virtuels avec Orthoanalyzer® (3Shape®).

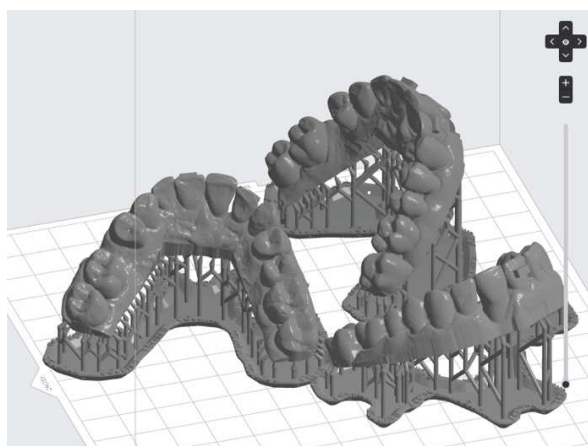


Figure 43 : Etape d'impression des modèles numériques (logiciel Formlab®).

Une fois les modèles imprimés, le thermoformage des gouttières peut être réalisé grâce à la machine Biostar® au sein du laboratoire du service de Chirurgie Maxillo-Faciale du CHU (avec l'aide des prothésistes Praud Morgan, Laigle Sonia, Dorze Joëlle et Bordage Matt) en prenant soin de combler les contre-dépouilles à la résine photopolymérisable (Figure 44). La première couche de la gouttière est molle (EVA éthyle vinyle acétate Erkoflex d'Erkodent® 1mm d'épaisseur) au niveau des dents antérieures subissant les forces (Figure 45). Elle permet un confort au patient qui pourra la désinsérer sans trop de douleur en diminuant les forces. De plus, un double en Erkoflex est réalisé afin de nous servir de moule pour positionner les taquets en composite fluide en bouche sur 11 et 22. La seconde est dure (PETG polyéthylène téréphtalate glycolisé Erkodur 1 mm d'épaisseur) et recouvre toute l'arcade. Ensuite, la séparation entre le modèle et la plaque est réalisée grâce à une pièce à main et différents outils (disques ronds, fraises à découper, à polir...) afin d'obtenir des gouttières sans ébarbures, lisses et facile à la désinsertion (Figure 46).



Figure 44 : Modèle en résine avec contre-dépouilles comblés par de la résine photopolymérisable.



Figure 45 : Première couche d'Erkoflex 1mm réalisée.



Figure 46 : Désinsertion et finitions des gouttières.

Le jour de la pose des taquets, les dents sont polies et nettoyées. Un Mordançage (gel d'acide orthophosphorique à 37 %) et Rinçage (flacon de *primer* et d'adhésif) en deux temps (MR2) est réalisé sur la 11 et la 22 (Figure 47). Le moule en Erkoflex est rempli de composite fluide au niveau des alvéoles qui formeront les taquets, inséré en bouche puis photopolymérisé (Figure 48). A la désinsertion, les taquets sont collés aux dents. La première gouttière (Figure 49) peut alors être insérer tout en expliquant son port 22h/24 pendant 15 jours. Les autres seront changées tous les 7 jours.

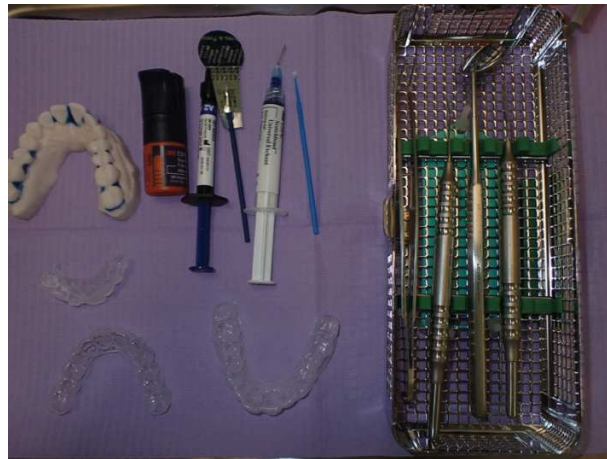


Figure 47 : Plateau technique.



Figure 48 : Photopolymérisation du taquet sur 22.

La dernière gouttière fut gardée par la patiente en attendant que la contention soit posée. Madame B. a porté 10 gouttières du 28/08/2018 au 21/11/2018. Elle est satisfaite du résultat (Figure 50) et dit avoir ressenti en moyenne des douleurs dentaires durant les 48 heures suivant le port d'une nouvelle gouttière ce qui rappelle les résultats de l'étude de

Vardimon (2010). La réalisation d'une légère coronoplastie fut nécessaire afin d'adoucir l'angle mésio-occlusal de la 11 ainsi que le bord libre de la 21 (Figure 51). L'ingression obtenue fut de 1,75 mm. La fermeture du diastème inter incisif a été réalisé avec succès. A la radiographie rétro-alvéolaire finale, aucune résorption radiculaire n'a été observée (Figure 52). La maintenance parodontale est à poursuivre chez cette patiente et une greffe parodontale sera envisagée.



Figure 49 : Vue endo-buccale après la mise en place des taquets à gauche ; avec la gouttière numéro 1 à droite.



Figure 50 : Résultat final après 10 gouttières soit 2 mois ½ de traitement.



Figure 51 : Résultat post coronoplastie soustractive sur 21.



Figure 52 : À gauche : rétro-alvéolaire du secteur antérieur 12 11 21 22 post traitement parodontal ; à droite : rétro-alvéolaire post traitement orthodontique par aligneur.

5 Conclusion

Les migrations pathologiques dentaires suite à une maladie parodontale font partie des motifs de consultation que tout orthodontiste doit savoir prendre en charge au cabinet. Une interaction efficace entre l'orthodontiste et le parodontiste permettra de rendre tout d'abord un sourire esthétique au patient mais aussi un guidage fonctionnel en s'assurant d'éliminer les surcharges occlusales. L'interdisciplinarité est primordiale dans les cas de parodonte réduit.

Face à la demande grandissante des traitements orthodontiques esthétiques invisibles, les effets des aligneurs sur la santé parodontale étaient donc à étudier. Ces derniers peuvent être utilisés au sein du panel thérapeutique de l'orthodontiste afin de soigner les patients au parodonte réduit. En effet, aucun effet délétère sur le parodonte n'a été démontré. De plus, ces derniers sont favorables pour un meilleur contrôle de plaque grâce à leur amovibilité. Cependant, comme tout traitement orthodontique, une hygiène bucco-dentaire rigoureuse doit être assurée par les patients. La démocratisation et les progrès des traitements par aligneurs modifient les habitudes thérapeutiques orthodontiques. Ces « nouveaux » outils technologiques seraient une indication pour traiter les adultes en maintenance parodontale en facilitant leur hygiène bucco-dentaire.

Il reste beaucoup à apprendre sur la biomécanique et l'efficacité des aligneurs. En effet, certains mouvements sont plus difficiles à réaliser que d'autres. Pour obtenir un bon alignement dentaire et une bonne coordination des arcades, il est impératif de poser un diagnostic correct et de choisir un objectif de traitement réalisable avec la biomécanique limitée des aligneurs tout en ciblant les attentes du patient, ses besoins sociaux et professionnels afin de choisir l'appareil le plus approprié.

Index des illustrations

Figure 1 : Schéma du parodonte avec A : Sulcus histologique ; B : Attache épithéliale ; C : Attache conjonctive ; D : Système d'attache (2).	11
Figure 2 : Aspect clinique de la gencive saine (avec la courtoisie du Dr. Clouet).....	12
Figure 3 : Schéma des CAL et PD au sondage (10).	14
Figure 4 : À gauche, alvéolyse horizontale ; à droite alvéolyse angulaire (13).....	16
Figure 5 : Inflammation du parodonte superficiel (rougeur, œdème et saignement).	18
Figure 6 : Schéma de SOCRANSKY.	19
Figure 7 : Complexes bactériens de SOCRANSKY (10).	20
Figure 8 : Complexes bactériens présents en supra et sous-gingival en présence d'un parodonte sain (à gauche) et d'une maladie parodontale (à droite)(10).....	20
Figure 9 : Perte d'attache terminale au niveau de la 12 (avec la courtoisie du Dr. Clouet R.).21	
Figure 10 : Maladie parodontale chronique généralisée (avec la courtoisie du Dr. Clouet R.).	22
Figure 11 : Iconographie personnelle, diastème 11-21, égression et version de la 21.	23
Figure 12 : Iconographie personnelle d'une égression pathologique de la 21 : présence de perte d'attache. Une parafonction qui pourrait déplacer la dent au parodonte réduit dans le sens de la force est à rechercher.	25
Figure 13 : Vues frontale (a) et latérale (b) d'une incisive centrale droite maxillaire extrusée chez un patient ayant eu une parodontite agressive localisée avant de commencer un traitement orthodontique et après un traitement parodontal (40).	31
Figure 14 : Mouvements possibles de l'arc dans les 3 sens de l'espace.	31
Figure 15 : Iconographie personnelle vestibulo-version des incisives supérieures.....	32
Figure 16 : À gauche, situation initiale après une chirurgie parodontale ; au milieu, traitement par arc de base d'ingression ; à gauche situation finale après 10 mois de traitement.	33
Figure 17 : À gauche, radiographie du défaut osseux initial ; à droite, défaut osseux final diminué.	33
Figure 18 : A représentant des MPS ; B : traitement par appareil fixe orthodontique : arc de base d'ingression et de rétraction incisif.....	34
Figure 19 : Iconographie personnelle représentant gonflement et saignement gingivaux chez un patient traité dans le service d'orthodontie du CSD de Nantes avec une hygiène médiocre.	35
Figure 20 : Schéma dentaire situant le centre de résistance(73).	39
Figure 21 : Schéma d'une version (en haut) et gression (en bas) dentaire (73).	40
Figure 22 : Mouvement autour du centre de rotation Cp.....	41
Figure 23 : Tooth positioner (Kesling(82)).	43
Figure 24 : Photographie d'un aligneur Invisalign®.	44
Figure 25 : Set up réalisés à partir du logiciel Orthoanalyzer (3shape) : prévisualisation numérique du résultat final idéal.	46
Figure 26 : ClinCheck® visible sur vip.invisalign.com après l'envoi des empreintes numériques et de la prescription orthodontique.	47
Figure 27 : Attachements ou Taquets Invisalign® posés sur la face vestibulaire dentaire.....	47

<u>Figure 28</u> : Forces appliquées sur les taquets permettant le tipping mésiodistal de la 14 (à gauche) et photographie des taquets réalisés en composite (à droite).....	48
<u>Figure 29</u> : À gauche, Clincheck® avec des mouvements d'ingression dans le secteur antérieur supérieurs à 3 mm (mouvement avec une pastille noire) ; à droite, mouvement de translation « bleu » de la 43 estimé à 4,15mm.	49
<u>Figure 30</u> : Power Arms® associés aux aligneurs pour tipper les racines dentaires.....	49
<u>Figure 31</u> : Vue endobuccale après l'application d'un révélateur de plaque d'un traitement orthodontique par aligneur au maxillaire et en multi-attache vestibulaire à la mandibule(57).	52
<u>Figure 32</u> : Photographies endobuccales maxillaires avant (à gauche) et après (à droite) le port d'aligneurs sans hygiène buccodentaire adéquate : inflammation gingivale sévère et déminéralisation des bords occlusaux dentaires (114).....	53
<u>Figure 33</u> : Superposition du modèle initial (en rouge) avec le set up final du mouvement de distalisation molaire (en bleu)(103).	57
<u>Figure 34</u> : À gauche : version vestibulolinguale : inclinaison de l'axe facial de la couronne clinique par rapport au plan d'occlusion ; à droite : tipping mésiodistal(95).....	58
<u>Figure 35</u> : À gauche vue inférieure de l'arcade maxillaire ; à droite vue occlusale de l'arcade maxillaire : superposition des CBCT avant traitement (en jaune) et après traitement (en violet) ; on observe peu de mouvements radiculaires (131).....	60
<u>Figure 36</u> : Power Ridges® : lignes de pressions proches de la gencive marginale permettant le torque au niveau du secteur incisif.	60
<u>Figure 37</u> : Mesures radiographiques; BC : crête osseuse ; BD : point le plus apical du défaut osseux ; TD : projection de la crête osseuse sur la surface radiculaire ; TD-BD : dimension verticale ; BC-TD : dimension horizontale de défaut osseux (155).....	69
<u>Figure 38</u> : À gauche avant traitement par aligneurs, à droite après traitement par aligneur : diminution des dimensions du défaut osseux chez un patient de 50 ans après 6 semaines de traitement (155).	70
<u>Figure 39</u> : À gauche avant traitement par aligneurs ; à droite : 6 semaines après (155).....	70
<u>Figure 40</u> : Vue endo-buccale avec diastème entre 11 et 21 et MPS de 21.	72
<u>Figure 41</u> : Empreinte numérique maxillaire format STL (logiciel Meshmixer®).	72
<u>Figure 42</u> : Réalisation des set-up virtuels avec Orthoanalyzer® (3Shape®).	73
<u>Figure 43</u> : Etape d'impression des modèles numériques (logiciel Formlab®).	73
<u>Figure 44</u> : Modèle en résine avec contre-dépouilles comblés par de la résine photopolymérisable.	74
<u>Figure 45</u> : Première couche d'Erkoflex 1mm réalisée.....	74
<u>Figure 46</u> : Désinsertion et finitions des gouttières.	74
<u>Figure 47</u> : Plateau technique.....	75
<u>Figure 48</u> : Photopolymérisation du taquet sur 22.	75
<u>Figure 49</u> : Vue endo-buccale après la mise en place des taquets à gauche ; avec la gouttière numéro 1 à droite.	76
<u>Figure 50</u> : Résultat final après 10 gouttières soit 2 mois ½ de traitement.....	76
<u>Figure 51</u> : Résultat post coronoplastie soustractive sur 21.	76
<u>Figure 52</u> : À gauche : rétro-alvéolaire du secteur antérieur 12 11 21 22 post traitement parodontal ; à droite : rétro-alvéolaire post traitement orthodontique par aligneur. ...	77

Index des tableaux

<u>Tableau 1</u> : Tableau récapitulatif de GI et PI.....	13
<u>Tableau 2</u> : Classification des maladies parodontales.	18
<u>Tableau 3</u> : Schéma représentant l'égression des 12, 22 et l'ingression des 11, 21 grâce aux taquets de soutien optimisés sur 12 et 22.	48

Bibliographie

1. Bercy P, Tenenbaum H. Parodontologie du diagnostic à la pratique. Bruxelles. De Boeck Supérieur; 2017.
2. Medspace. Attache épithéliale Disponible sur:
http://www.medespace.fr/Facultes_Medicales_Virtuelles/lattache-epitheliale/
3. Charon J, Bezzina-moulieras ME, Bonnaure-Maller M. Parodontie médicale innovations médicales. Collection JPIO. 2ème éd. CdP; 2010.
4. Karring T, Nyman S, Lindhe J, Sirirat M. Potentials for root resorption during periodontal wound healing. J Clin Periodontol. janv 1984;11(1):41-52.
5. Sodek J, Goldberg HA, Domenicucci C, Zhang Q, Kwon B, Maeno M, et al. Characterization of multiple forms of small collagenous apatite-binding proteins in bone. Connect Tissue Res. 1989;20(1-4):233-40.
6. Mikx FH. The study of dental plaque by Antoni van Leeuwenhoek in 1683. Ned Tijdschr Tandheelkd. sept 1983;90(9):421-4.
7. Listgarten MA. Structure of the microbial flora associated with periodontal health and disease in man. A light and electron microscopic study. J Periodontol. janv 1976;47(1):1-18.
8. Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé. Parodontopathies : Diagnostic et traitements. Paris : ANAES, 2002 [cité 16 janv 2019]. Disponible sur:
https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/Parodontopathies_recos.pdf
9. Silness J, Loe H. Periodontal disease in pregnancy. II. Correlation between oral hygiene and periodontal condition Acta Odontol Scand. févr 1964;22:121-35.
10. Clerehugh V, Tugnait A, Genco RJ. Periodontology at a Glance. Oxford; John Wiley & Sons; 2009.
11. Mühlemann HR. Tooth mobility: a review of clinical aspects and research findings. J Periodontol. déc 1967;38(6 Suppl):686-713.
12. Miller PD. A classification of marginal tissue recession. Int J Periodonti Restor Dent. 1985;5(2):8-13.
13. Itic J. L'examen clinique et radiographique en parodontie Le fil dentaire magazine dentaire. 2010 [cité 16 janv 2019]. Disponible sur:
<https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/parodontologie/lexamen-clinique-et-radiographique-en-parodontie/>

14. Tournemine S. Orthodontie sur parodonte réduit. Thèse d'exercice ; Université de Nantes. Unité de formation et de recherche d'odontologie; 2005.
15. Dersot J. Les relations parodontie-orthodontie: un état des lieux. J Parodonto Implantol Orale 2000;HS(19):243-51.
16. Gjermo. Epidemiology of periodontal diseases in Europe. 1998 [cité 29 nov 2018];(2). Disponible sur: <http://www.editionscdp.fr/revues/jpio/article/n-17-2/epidemiology-of-periodontal-diseases-in-europe.html>
17. Association Dentaire Française. Fiche pratique les maladies parodontales [Internet]. Disponible sur: <http://www.adf.asso.fr/fr/presse/fiches-pratiques/maladies-parodontales>
18. Bourgeois D, Bouchard P, Mattout C. Epidemiology of periodontal status in dentate adults in France. J Periodontal Res. 2003 2002;(42):219-27.
19. Alcouffe F. Les parodontites, état de la science. Inf Dent.1999;(81(20)).
20. Albandar JM, Rams TE. Global epidemiology of periodontal diseases: an overview. Periodontol 2000. 2002;29:7-10.
21. Armitage GC. Development of a classification system for periodontal diseases and conditions. Northwest Dent. déc 2000;79(6):31-5.
22. Charon J, Joachim F, Sandele P. Parodontite clinique moderne, de la littérature à la clinique. Paris : CdP; 1995.
23. Klinge B, Norlund A. A socio-economic perspective on periodontal diseases: a systematic review. J Clin Periodontol. 2005;32 (Suppl 6):314-25.
24. Beck J, Garcia R, Heiss G, Vokonas PS, Offenbacher S. Periodontal disease and cardiovascular disease. J Periodontol. 1996;67(10S):1123-37.
25. Towfighi PP, Brunsvold MA, Storey AT, Arnold RM, Willman DE, McMahan CA. Pathologic migration of anterior teeth in patients with moderate to severe periodontitis. J Periodontol. oct 1997;68(10):967-72.
26. Martinez-Canut P, Carrasquer A, Magán R, Lorca A. A study on factors associated with pathologic tooth migration. J Clin Periodontol. juill 1997;24(7):492-7.
27. Massif L, Frapier L. Orthodontie et parodontie. Encycl Med Chir.(Paris), Orthopédie dentofaciale, 23-490-A-07, 2007.
28. Brunsvold MA. Pathologic tooth migration. J Periodontol. juin 2005;76(6):859-66.
29. Greenstein G, Cavallaro J, Scharf D, Tarnow D. Differential diagnosis and management of flared maxillary anterior teeth. J Am Dent Assoc. juin 2008;139(6):715-23.

30. Gaumet PE, Brunsvold MI, McMahan CA. Spontaneous repositioning of pathologically migrated teeth. *J Periodontol.* oct 1999;70(10):1177-84.
31. Persson R, Svensson A. Assessment of tooth mobility using small loads. I. Technical devices and calculations of tooth mobility in periodontal health and disease. *J Clin Periodontol.* août 1980;7(4):259-75.
32. Svanberg G, Lindhe J. Vascular reactions in the periodontal ligament incident to trauma from occlusion. *J Clin Periodontol.* 1974;1(1):58-69.
33. Hallmon WW, Harrel SK. Occlusal analysis, diagnosis and management in the practice of periodontics. *Periodontol 2000.* 2004;34:151-64.
34. Fan J, Caton JG. Occlusal trauma and excessive occlusal forces: Narrative review, case definitions, and diagnostic considerations. *J Periodontol.* juin 2018;89 (Suppl 1):S214-22.
35. Thery-Hugly M, Hugly C. *Les Principes d'une bonne communication.* Paris: CdP; 1996.
36. Burgett FG, Ramfjord SP, Nissle RR, Morrison EC, Charbeneau TD, Caffesse RG. A randomized trial of occlusal adjustment in the treatment of periodontitis patients. *J Clin Periodontol.* juill 1992;19(6):381-7.
37. Nunn ME, Harrel SK. The effect of occlusal discrepancies on periodontitis. I. Relationship of initial occlusal discrepancies to initial clinical parameters. *J Periodontol.* avr 2001;72(4):485-94.
38. Mathews DP, Kokich VG. Managing treatment for the orthodontic patient with periodontal problems. *Semin Orthod.* mars 1997;3(1):21-38.
39. Janakievski J, Kokich VO, Kinzer G. Interdisciplinary collaboration: an approach to optimize outcomes for patients with compromised dental esthetics. *Int J Esthet Dent.* 2015;10(2):302-31.
40. Khorsand A, Paknejad M, Yaghobee S, Ghahroudi AAR, Bashizadefakhar H, Khatami M, et al. Periodontal parameters following orthodontic treatment in patients with aggressive periodontitis: A before-after clinical study. *Dent Res J.* 2013;10(6):744-51.
41. Melsen B. Tissue reaction to orthodontic tooth movement-a new paradigm. *Eur J Orthod.* déc 2001;23(6):671-81.
42. Boyer S, Fontanel F, Danan M, Olivier M, Bouter D, Brion M. Severe periodontitis and orthodontics: evaluation of long-term results. *Int Orthod.* sept 2011;9(3):259-73.
43. Cardaropoli D, Re S, Corrente G, Abundo R. Intrusion of migrated incisors with infrabony defects in adult periodontal patients. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* déc

2001;120(6):671-675; quiz 677.

44. Cao T, Xu L, Shi J, Zhou Y. Combined orthodontic-periodontal treatment in periodontal patients with anteriorly displaced incisors. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* nov 2015;148(5):805-13.
45. Yáñez-Vico RM, Iglesias-Linares A, Ballesta-Mudarra S, Ortiz-Ariza E, Solano-Reina E, Perea E-J. Short-term effect of removal of fixed orthodontic appliances on gingival health and subgingival microbiota: a prospective cohort study. *Acta Odontol Scand.* 2015;73(7):496-502.
46. Atack NE, Sandy JR, Addy M. Periodontal and microbiological changes associated with the placement of orthodontic appliances. A review. *J Periodontol.* févr 1996;67(2):78-85.
47. Liu H, Sun J, Dong Y, Lu H, Zhou H, Hansen BF, et al. Periodontal health and relative quantity of subgingival *Porphyromonas gingivalis* during orthodontic treatment. *Angle Orthod.* juill 2011;81(4):609-15.
48. Ristic M, Vlahovic Svabic M, Sasic M, Zelic O. Clinical and microbiological effects of fixed orthodontic appliances on periodontal tissues in adolescents. *Orthod Craniofac Res.* nov 2007;10(4):187-95.
49. Gomes SC, Varela CC, da Veiga SL, Rösing CK, Oppermann RV. Periodontal conditions in subjects following orthodontic therapy. A preliminary study. *Eur J Orthod.* oct 2007;29(5):477-81.
50. Ghijssels E, Coucke W, Verdonck A, Teughels W, Quirynen M, Pauwels M, et al. Long-term changes in microbiology and clinical periodontal variables after completion of fixed orthodontic appliances. *Orthod Craniofac Res.* févr 2014;17(1):49-59.
51. van Gastel J, Quirynen M, Teughels W, Carels C. The relationships between malocclusion, fixed orthodontic appliances and periodontal disease. A review of the literature. *Aust Orthod J.* nov 2007;23(2):121-9.
52. Nobre dos Santos M, Melo dos Santos L, Francisco SB, Cury JA. Relationship among dental plaque composition, daily sugar exposure and caries in the primary dentition. *Caries Res.* oct 2002;36(5):347-52.
53. Knight ET, Liu J, Seymour GJ, Faggion CM, Cullinan MP. Risk factors that may modify the innate and adaptive immune responses in periodontal diseases. *Periodontol 2000.* juin 2016;71(1):22-51.
54. Krishnan V, Davidovitch Z. Cellular, molecular, and tissue-level reactions to

orthodontic force. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* avr 2006;129(4):469.e1-32.

55. Bollen A-M, Cunha-Cruz J, Bakko DW, Huang GJ, Hujoel PP. The effects of orthodontic therapy on periodontal health: a systematic review of controlled evidence. *J Am Dent Assoc* 1939. avr 2008;139(4):413-22.

56. Glans R, Larsson E, Øgaard B. Longitudinal changes in gingival condition in crowded and noncrowded dentitions subjected to fixed orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* déc 2003;124(6):679-82.

57. Miethke R-R, Vogt S. A comparison of the periodontal health of patients during treatment with the Invisalign system and with fixed orthodontic appliances. *J Orofac Orthop.* mai 2005;66(3):219-29.

58. Brown IS. The effect of orthodontic therapy on certain types of periodontal defects. I. Clinical findings. *J Periodontol.* déc 1973;44(12):742-56.

59. Naranjo AA, Triviño ML, Jaramillo A, Betancourth M, Botero JE. Changes in the subgingival microbiota and periodontal parameters before and 3 months after bracket placement. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* sept 2006;130(3):275.e17-22.

60. Thomson WM. Orthodontic treatment outcomes in the long term: findings from a longitudinal study of New Zealanders. *Angle Orthod.* oct 2002;72(5):449-55.

61. Alexander SA. Effects of orthodontic attachments on the gingival health of permanent second molars. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* oct 1991;100(4):337-40.

62. van Gastel J, Quirynen M, Teughels W, Coucke W, Carels C. Longitudinal changes in microbiology and clinical periodontal parameters after removal of fixed orthodontic appliances. *Eur J Orthod.* févr 2011;33(1):15-21.

63. Sallum EJ, Nouer DF, Klein MI, Gonçalves RB, Machion L, Wilson Sallum A, et al. Clinical and microbiologic changes after removal of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* sept 2004;126(3):363-6.

64. Janson G, Bombonatti R, Brandão AG, Henriques JFC, de Freitas MR. Comparative radiographic evaluation of the alveolar bone crest after orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* août 2003;124(2):157-64.

65. Zachrisson BU, Alnaes L. Periodontal condition in orthodontically treated and untreated individuals. I. Loss of attachment, gingival pocket depth and clinical crown height. *Angle Orthod.* oct 1973;43(4):402-11.

66. Artun J, Urbye KS. The effect of orthodontic treatment on periodontal bone support

in patients with advanced loss of marginal periodontium. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* févr 1988;93(2):143-8.

67. Wennström JL, Stokland BL, Nyman S, Thilander B. Periodontal tissue response to orthodontic movement of teeth with infrabony pockets. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* avr 1993;103(4):313-9.

68. Moore WE, Moore LV. The bacteria of periodontal diseases. *Periodontol* 2000. juin 1994;5:66-77.

69. Petti S, Barbato E, Simonetti D'Arca A. Effect of orthodontic therapy with fixed and removable appliances on oral microbiota: a six-month longitudinal study. *New Microbiol.* janv 1997;20(1):55-62.

70. Thornberg MJ, Riolo CS, Bayirli B, Riolo ML, Van Tubergen EA, Kulbersh R. Periodontal pathogen levels in adolescents before, during, and after fixed orthodontic appliance therapy. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* janv 2009;135(1):95-8.

71. Zasciurinskiene E, Lindsten R, Slotte C, Bjerklin K. Orthodontic treatment in periodontitis-susceptible subjects: a systematic literature review. *Clin Exp Dent Res.* avr 2016;2(2):162-73.

72. Talic NF. Adverse effects of orthodontic treatment: A clinical perspective. *Saudi Dent J.* avr 2011;23(2):55-9.

73. Faure J. Biomécanique orthodontique. Collection les fondamentaux. Paris : CdP, EDP Sciences, 2011.

74. Sastre J, Le Gall M. Déplacement dentaire - implications cliniques - PDF Free Download [Internet]. kundoc.com. [cité 29 nov 2018]. Disponible sur: <https://kundoc.com/pdf-deplacement-dentaire-implications-cliniques-.html>

75. Canal P, Delsol L, Wiechmann D. Orthodontie linguale [Internet]. Elsevier Masson; 2016 [cité 18 janv 2019]. 288 p. Disponible sur: <https://www.elsevier-masson.fr/orthodontie-linguale-9782294734304.html>

76. Melsen B, Agerbaek N, Markenstam G. Intrusion of incisors in adult patients with marginal bone loss. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* sept 1989;96(3):232-41.

77. Ren Y, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM. Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: a systematic literature review. *Angle Orthod.* févr 2003;73(1):86-92.

78. Han J-Y. A comparative study of combined periodontal and orthodontic treatment with fixed appliances and clear aligners in patients with periodontitis. *J Periodont Implant*

Sci. déc 2015;45(6):193-204.

79. Ong MMA, Wang H-L. Periodontic and orthodontic treatment in adults. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* oct 2002;122(4):420-8.
80. Dannan A. An update on periodontic-orthodontic interrelationships. *J Indian Soc Periodontol.* janv 2010;14(1):66-71.
81. Kesling HD. The philosophy of the tooth positioning appliance. *Am J Orthod Oral Surg.* juin 1945;31(6):297-304.
82. Kesling HD. Coordinating the predetermined pattern and tooth positioner with conventional treatment. *Am J Orthod Oral Surg.* mai 1946;32:285-93.
83. Philippe J. Le « Tooth-Positioner ». *Rev Orthop Dento-Faciale*, avr 1975;9(2):231-40.
84. Ponitz RJ. Invisible retainers. *Am J Orthod.* mars 1971;59(3):266-72.
85. McNamara JA, Kramer KL, Juenker JP. Invisible retainers. *J Clin Orthod.* août 1985;19(8):570-8.
86. Sheridan JJ, LeDoux W, McMinn R. Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. *J Clin Orthod.* janv 1993;27(1):37-45.
87. Rinchuse DJ, Rinchuse DJ. Active tooth movement with Essix-based appliances. *J Clin Orthod.* févr 1997;31(2):109-12.
88. Kuo E, Miller RJ. Automated custom-manufacturing technology in orthodontics. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* mai 2003;123(5):578-81.
89. Boyd RL. Esthetic orthodontic treatment using the invisalign appliance for moderate to complex malocclusions. *J Dent Educ.* août 2008;72(8):948-67.
90. Wong BH. Invisalign A to Z. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* mai 2002;121(5):540-1.
91. Brockmeyer P, Kramer K, Böhrnsen F, Gruber RM, Batschkus S, Rödiger T, et al. Removable thermoplastic appliances modified by incisal cuts show altered biomechanical properties during tipping of a maxillary central incisor. *Prog Orthod* [Internet]. 28 août 2017 [cité 25 nov 2018]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5572558/>
92. Schuster S, Eliades G, Zinelis S, Eliades T, Bradley TG. Structural conformation and leaching from in vitro aged and retrieved Invisalign appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* déc 2004;126(6):725-8.
93. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J.* mars 2017;62 (Suppl 1):58-62.

94. Dasy H, Dasy A, Asatrian G, Rózsa N, Lee H-F, Kwak JH. Effects of variable attachment shapes and aligner material on aligner retention. *Angle Orthod.* nov 2015;85(6):934-40.
95. Lombardo L, Arreghini A, Ramina F, Huanca Ghislanzoni LT, Siciliani G. Predictability of orthodontic movement with orthodontic aligners: a retrospective study. *Prog Orthod* [Internet]. 13 nov 2017 [cité 29 nov 2018];18. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5682257/>
96. Hahn W, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, Zapf A, Kubein-Meesenburg D, et al. Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a maxillary central incisor during tipping. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* juill 2009;136(1):12.e1-7; discussion 12-13.
97. Kwon J-S, Lee Y-K, Lim B-S, Lim Y-K. Force delivery properties of thermoplastic orthodontic materials. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* févr 2008;133(2):228-234; quiz 328.e1.
98. Martorelli M, Gerbino S, Giudice M, Ausiello P. A comparison between customized clear and removable orthodontic appliances manufactured using RP and CNC techniques. *Dent Mater.* févr 2013;29(2):e1-10.
99. Chisari JR, McGorray SP, Nair M, Wheeler TT. Variables affecting orthodontic tooth movement with clear aligners. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* avr 2014;145(4 Suppl):S82-91.
100. Hahn W, Engelke B, Jung K, Dathe H, Fialka-Fricke J, Kubein-Meesenburg D, et al. Initial forces and moments delivered by removable thermoplastic appliances during rotation of an upper central incisor. *Angle Orthod.* mars 2010;80(2):239-46.
101. Wheeler TT. Orthodontic clear aligner treatment. *Semin Orthod.* mars 2017;23(1):83-9.
102. Nedwed V, Miethke R-R. Motivation, acceptance and problems of invisalign patients. *J Orofac Orthop.* mars 2005;66(2):162-73.
103. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique--regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health.* juin 2014;14:68.
104. Vardimon AD, Robbins D, Brosh T. In-vivo von Mises strains during Invisalign treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* oct 2010;138(4):399-409.
105. Lu H, Tang H, Zhou T, Kang N. Assessment of the periodontal health status in patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances and Invisalign system. *Medicine (Baltimore)* [Internet]. 30 mars 2018 [cité 31 août 2018];97(13). Disponible sur:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5895427/>

106. Jiang Q, Li J, Mei L, Du J, Levrini L, Abbate GM, et al. Periodontal health during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: A meta-analysis. *J Am Dent Assoc.* août 2018;149(8):712-720.e12.
107. Tsichlaki A, Chin SY, Pandis N, Fleming PS. How long does treatment with fixed orthodontic appliances last? A systematic review. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* mars 2016;149(3):308-18.
108. Tuncer AV, Baylas H. [Examination of the effects of various orthodontic appliances on periodontal tissues]. *Turk Ortodonti Derg.* avr 1990;3(1):13-8.
109. Abbate GM, Caria MP, Montanari P, Mannu C, Orrù G, Caprioglio A, et al. Periodontal health in teenagers treated with removable aligners and fixed orthodontic appliances. *J Orofac Orthop.* mai 2015;76(3):240-50.
110. Miethke R-R, Brauner K. A comparison of the periodontal health of patients during treatment with the Invisalign system and with fixed lingual appliances. *J Orofac Orthop.* mai 2007;68(3):223-31.
111. Azaripour A, Weusmann J, Mahmoodi B, Peppas D, Gerhold-Ay A, Van Noorden CJF, et al. Braces versus Invisalign®: gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study. *BMC Oral Health.* juin 2015;15(1):69.
112. Karkhanechi M, Chow D, Sipkin J, Sherman D, Boylan RJ, Norman RG, et al. Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy. *Angle Orthod.* janv 2013;83(1):146-51.
113. Low B, Lee W, Seneviratne CJ, Samaranayake LP, Hägg U. Ultrastructure and morphology of biofilms on thermoplastic orthodontic appliances in « fast » and « slow » plaque formers. *Eur J Orthod.* oct 2011;33(5):577-83.
114. Moshiri M, Eckart JE. Consequences of poor oral hygiene during clear aligner therapy. *J Clin Orthod.* août 2013;47(8):494-8.
115. Schaefer I, Braumann B. Halitosis, oral health and quality of life during treatment with Invisalign(®) and the effect of a low-dose chlorhexidine solution. *J Orofac Orthop.* nov 2010;71(6):430-41.
116. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Periodontal health during clear aligners treatment: a systematic review. *Eur J Orthod.* oct 2015;37(5):539-43.
117. Chhibber A, Agarwal S, Yadav S, Kuo C-L, Upadhyay M. Which orthodontic appliance

- is best for oral hygiene? A randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* févr 2018;153(2):175-83.
118. Levrini L, Mangano A, Montanari P, Margherini S, Caprioglio A, Abbate GM. Periodontal health status in patients treated with the Invisalign(®) system and fixed orthodontic appliances: A 3 months clinical and microbiological evaluation. *Eur J Dent.* sept 2015;9(3):404-10.
119. Jordan C, LeBlanc DJ. Influences of orthodontic appliances on oral populations of mutans streptococci. *Oral Microbiol Immunol.* avr 2002;17(2):65-71.
120. Levrini L, Abbate GM, Migliori F. Assessment of the periodontal health status in patients undergoing orthodontic treatment with fixed or removable appliances. A microbiological and preliminary clinical study. *Cumhuriyet Dental J.* 2013;16(4):296-307.
121. Petti S, Barbato E, Simonetti D'Arca A. Effect of orthodontic therapy with fixed and removable appliances on oral microbiota: a six-month longitudinal study. *New Microbiol.* janv 1997;20(1):55-62.
122. Clerehugh V, Williams P, Shaw WC, Worthington HV, Warren P. A practice-based randomised controlled trial of the efficacy of an electric and a manual toothbrush on gingival health in patients with fixed orthodontic appliances. *J Dent.* nov 1998;26(8):633-9.
123. Tepedino M, Paoloni V, Cozza P, Chimenti C. Movement of anterior teeth using clear aligners: a three-dimensional, retrospective evaluation. *Prog Orthod [Internet].* 2 avr 2018 [cité 8 sept 2018];19. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5879033/>
124. Krieger E, Seiferth J, Saric I, Jung BA, Wehrbein H. Accuracy of Invisalign® treatments in the anterior tooth region. First results. *J Orofac Orthop.* mars 2011;72(2):141-9.
125. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* janv 2009;135(1):27-35.
126. Glassick A, Gluck AJ. Evaluating the efficacy of lower incisor intrusion with clear aligners. *Journal of Clinical Orthodontics [Internet].* avr 2017 [cité 29 nov 2018]; Disponible sur: <https://www.jco-online.com/archive/2017/04/233-aligner-corner-evaluating-the-efficacy-of-lower-incisor-intrusion-with-clear-aligners/>
127. Weiland FJ, Bantleon HP, Droschl H. Evaluation of continuous arch and segmented arch leveling techniques in adult patients--a clinical study. *Am J Orthod Dentofac Orthop.*

déc 1996;110(6):647-52.

128. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod.* sept 2015;85(5):881-9.

129. Nguyen C, Chen J. Three-dimensional superimposition tool in : Tuncay OC. *The Invisalign System*. Berlin. Quintessence Publishing, 2006.

130. Bollen A-M, Huang G, King G, Hujoel P, Ma T. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 1: Ability to complete treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* nov 2003;124(5):496-501.

131. Djeu G, Shelton C, Maganzini A. Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* sept 2005;128(3):292-298; discussion 298.

132. Zhang X-J, He L, Guo H-M, Tian J, Bai Y-X, Li S. Integrated three-dimensional digital assessment of accuracy of anterior tooth movement using clear aligners. *Korean J Orthod.* nov 2015;45(6):275-81.

133. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique – regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health.* juin 2014;14:68.

134. Sheridan JJ. The Readers' Corner. 2. What percentage of your patients are being treated with Invisalign appliances? *J Clin Orthod.* oct 2004;38(10):544-5.

135. Brezniak N. The clear plastic appliance: a biomechanical point of view. *Angle Orthod.* mars 2008;78(2):381-2.

136. Papadimitriou A, Mousoulea S, Gkantidis N, Kloukos D. Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment: a systematic review. *Prog Orthod.* sept 2018;19(1):37.

137. Hahn W, Zapf A, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, Gruber R, et al. Torquing an upper central incisor with aligners--acting forces and biomechanical principles. *Eur J Orthod.* déc 2010;32(6):607-13.

138. Lagravère MO, Flores-Mir C. The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners: a systematic review. *J Am Dent Assoc.* déc 2005;136(12):1724-9.

139. Krieger E, Seiferth J, Marinello I, Jung BA, Wriedt S, Jacobs C, et al. Invisalign® treatment in the anterior region: were the predicted tooth movements achieved? *J Orofac Orthop.* sept 2012;73(5):365-76.

140. Kassas W, Al-Jewair T, Preston CB, Tabbaa S. Assessment of Invisalign treatment outcomes using the ABO Model Grading System. *J World Fed Orthod.* juin 2013;2(2):e61-4.
141. Clements KM, Bollen A-M, Huang G, King G, Hujoel P, Ma T. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 2: Dental improvements. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* nov 2003;124(5):502-8.
142. Zheng M, Liu R, Ni Z, Yu Z. Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res.* août 2017;20(3):127-33.
143. Yu Y, Sun J, Lai W, Wu T, Koshy S, Shi Z. Interventions for managing relapse of the lower front teeth after orthodontic treatment. Cochrane Oral Health Group, éditeur. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 6 sept 2013 [cité 21 janv 2019]; Disponible sur: <http://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD008734.pub2>
144. Kuncio D, Maganzini A, Shelton C, Freeman K. Invisalign and traditional orthodontic treatment postretention outcomes compared using the American Board of Orthodontics objective grading system. *Angle Orthod.* sept 2007;77(5):864-9.
145. Miller KB, McGorray SP, Womack R, Quintero JC, Perelmuter M, Gibson J, et al. A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* mars 2007;131(3):302.e1-9.
146. White DW, Julien KC, Jacob H, Campbell PM, Buschang PH. Discomfort associated with Invisalign and traditional brackets: A randomized, prospective trial. *Angle Orthod.* nov 2017;87(6):801-8.
147. Almasoud NN. Pain perception among patients treated with passive self-ligating fixed appliances and Invisalign® aligners during the first week of orthodontic treatment. *Korean J Orthod.* sept 2018;48(5):326-32.
148. Premaraj T, Simet S, Beatty M, Premaraj S. Oral epithelial cell reaction after exposure to Invisalign plastic material. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* janv 2014;145(1):64-71.
149. Bräscher A-K, Zuran D, Feldmann RE, Benrath J. Patient survey on Invisalign® treatment compare the SmartTrack® material to the previous aligner material. *J Orofac Orthop.* nov 2016;77(6):432-8.
150. Barlattani A, Mampieri G, Ottria L, Bollero P. Invisalign treatment in periodondal patient: case report. *Oral Implantol.* oct 2009;2(4):35-9.

151. Shalish M, Cooper-Kazaz R, Ivgi I, Canetti L, Tsur B, Bachar E, et al. Adult patients' adjustability to orthodontic appliances. Part I: a comparison between Labial, Lingual, and InvisalignTM. *Eur J Orthod*. déc 2012;34(6):724-30.
152. Meier B, Wiemer KB, Miethke R-R. Invisalign--patient profiling. Analysis of a prospective survey. *J Orofac Orthop*. sept 2003;64(5):352-8.
153. Fujiyama K, Honjo T, Suzuki M, Matsuoka S, Deguchi T. Analysis of pain level in cases treated with Invisalign aligner: comparison with fixed edgewise appliance therapy. *Prog Orthod*. nov 2014;15:64.
154. Buschang PH, Shaw SG, Ross M, Crosby D, Campbell PM. Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces. *Angle Orthod*. 18 nov 2013; (EPub ahead of print).
155. Pavoni C, Lione R, Laganà G, Cozza P. Self-ligating versus Invisalign: analysis of dento-alveolar effects. *Ann Stomatol (Roma)*. juill 2011;2(1-2):23-7.
156. Lee J-W, Lee S-J, Lee C-K, Kim B-O. Orthodontic treatment for maxillary anterior pathologic tooth migration by periodontitis using clear aligner. *J Periodont Implant Sci*. févr 2011;41(1):44-50.
157. Deepa D, Mehta DS, Puri VK, Shetty S. Combined periodontic-orthodontic endodontic interdisciplinary approach in the treatment of periodontally compromised tooth. *J Indian Soc Periodontol*. 2010;14(2):139-43.

Annexes

Auteurs (date)	Type d'étude et grade de recommandations (ANAES/HAS)	Echantillon	Résultats	Conclusions
Tuncer et Baylas (1990) (108)	Etude comparative prospective	45 patients (15 avec un traitement amovible, 15 avec un système fixe DBS, 15 avec un appareil multi-bagues).	Une différence statistiquement significative a été trouvée au niveau de la profondeur de la poche entre les 3 groupes (PPD inférieur avec les aligneurs).	Il y avait des différences statistiquement significatives des valeurs concernant PD, IG et IP dans chacun des groupes avant et après la motivation à l'hygiène.
Petti S (1997) (121)	Etude longitudinale sur 6 mois	30 patients (7 à 15 ans) 15 traités par appareil fixe et 15 par aligneurs.	Augmentation des bâtonnets mobiles, présence sous-gingivale de spirochètes et diminution de GRAM + avec un appareil fixe. Présence supra-gingivale de spirochètes, et sous-gingivale de bâtonnets mobiles avec des aligneurs.	Bonne état de santé parodontale à 6 mois indépendamment du système orthodontique utilisé (aligneurs ou fixes). Mais modification significative de la flore orale avec un appareil fixe qui suggère que le risque parodontal n'est pas à exclure.

Miethke et Vogt (2005) (57)	Etude prospective	60 patients (43 hommes, 17 femmes) ; âge moyen 30 ans. 30 patients avec des appareils fixe et 30 avec des aligneurs).	IP plus élevé avec un appareil vestibulaire fixe par rapport aux aligneurs.	Etat de santé parodontale des deux groupes quasi identique. De plus, l'état de santé parodontal n'est pas mis en péril lors du port des aligneurs.
Miethke et al (2007) (110)	Etude prospective	30 patients ; âge moyen 39 ans .	IP, IG, PBI, SPD plus élevés avec un appareil lingual fixe par rapport aux aligneurs.	Etat de santé parodontale amélioré avec les aligneurs permettant un nettoyage naturel et manuel favorable.
Schaefer et Braumann (2010) (115)	Etude transversale	31 patients traités par Invisalign divisés en 2 (groupe 1: CHX/no CHX, group 2: no CHX/CHX).	Le niveau de composé soufré volatil était significativement réduit par la CHX (0,06%) au cours de la première période d'examen ($p = 0,02$), c'est-à-dire pour le premier groupe de patients seulement. Ni l'halitose, ni la sécheresse buccale, ni des mesures de plaque élevée ou d'indice gingival n'ont été observées. La qualité de vie liée à la santé bucco-dentaire était à peine influencée par le port de gouttières et les habitudes d'hygiène buccale étaient très bonnes.	Les aligneurs n'entraînent qu'une altération minimale de la santé buccodentaire globale et de la qualité de vie associée. Il n'est pas recommandé d'utiliser un bain de bouche à faible concentration de chlorhexidine pendant le traitement par aligneurs.

Low et al. (2011) (113)	Etude prospective	11 patients (7 hommes, 4 femmes) de 19 à 39 ans.	Aucune variation significative de l'IP pendant un traitement par aligneurs ; mais pas de groupe contrôle valide.	Risque parodontal faible durant un traitement par aligneurs. La colonisation bactérienne se centre initialement sur les bords relevés et les surfaces « texturées » des aligneurs. Les zones en contre dépouille ou présentant des renforcements présentent plus de biofilm que les surfaces planes. Les bords peuvent irriter la gencive marginale.
Levrini et al (2013) (120)	Essai clinique randomisé ; étude préliminaire	30 patients (9 hommes et 21 femmes ; 25 ans d'âge moyen) divisées en 3 groupes (10 traités par aligneurs, 10 par appareils buccaux fixes, 10 non traités).	L'IP, PPD, BOP et la masse de biofilm meilleurs dans le groupe traité par aligneurs.	Les appareils fixes et amovibles n'augmentent pas le risque de maladie parodontale. Cependant, les appareils Invisalign® peuvent faciliter les procédures d'hygiène buccale, en maintenant un niveau plus bas de masse de biofilm microbien, même en cas de mauvaise observance de l'hygiène buccale, en minimisant les effets négatifs sur l'inflammation gingivale.

Mazyar Moshiri (2013) (114)	Séries de cas	4 cas cliniques : port d'aligneurs avec une hygiène orale médiocre et/ou portés pendant les repas.	Cas 1 : à 10 semaines, déminéralisation visible. Cas 2 : à 4 mois, inflammation gingivale et déminéralisation. Cas 3 : déminéralisation significative à 12 mois. Cas 4 : déminéralisation à 2 mois (bord libre des incisives).	Le risque parodontal avec des aligneurs n'est pas supérieur par rapport aux appareils fixes. L'inflammation gingivale sévère est possible mais réversible.
Karkhanechi et al (2013) (112)	Etude prospective	42 patients : 22 patients traités par appareils fixes (6 hommes, 16 femmes ; 34 ans d'âge moyen), 20 par aligneurs (8 hommes, 12 femmes ; 28 ans d'âge moyen).	Différences significatives entre les appareils CAT et fixes pour les IP après 6 mois ($P < 0,001$) et 12 mois ($P < 0,001$), BOP après 12 mois ($P < 0,05$), IG après 6 mois ($P < 0,01$) et 12 mois ($P < 0,01$), et PPD après 6 semaines ($P = 0,012$), 6 mois ($P < 0,021$) et 12 mois ($P < 0,003$) ont été révélés.	Dégradation de l'état parodontal avec des appareils fixes par rapport aux aligneurs.
Abbate et al (2015) (109)	Etude préliminaire : essai clinique	50 adolescents âgés de 10 à 18 ans.	IP et PD inférieurs au 3 ^{ème} , 6 ^{ème} et 12 ^{ème} mois ; BOP inférieur au 6 ^{ème} et 12 ^{ème} ; FMPS et FMBS inférieurs au 12 ^{ème} mois avec les aligneurs par rapport à un appareil fixe vestibulaire.	Etat de santé parodontale supérieur dans le groupe traité par aligneurs.

Levrini et al (2015) (118)	Essai clinique randomisé	77 patients divisés en 3 groupes (32 patients traités par Invisalign®, 35 par un appareil fixe, 10 non traités) âgés de 16 à 30 ans.	BOP, PPD et IP inférieurs à 3 mois avec les aligneurs par rapport à un appareil fixe vestibulaire ; augmentation de la masse de biofilm avec un appareil fixe.	Meilleur état de santé parodontale à court terme (3 mois) avec des aligneurs. Invisalign® doit être considéré comme une première option de traitement chez les patients présentant un risque de développer une maladie parodontale.
Azaripour (2015) (111)	Etude transversale	100 patients (50 traitées par appareils fixes moyenne d'âge 16 ans ; 50 par aligneurs moyenne d'âge 31 ans)	L'IP augmente dans les deux groupes, mais était plus élevé chez les patients avec des appareils fixes ($37,7\% \pm 21,9$) que chez les patients Invisalign® ($27,8\% \pm 24,6$). Ces différences n'étaient pas significatives. Les valeurs IG et SBI ont légèrement augmenté chez les patients Invisalign® alors qu'elles ont été multipliées par 2 chez les patients avec appareils fixes.	La santé parodontale est meilleure chez les patients Invisalign® par rapport aux appareils fixes avec une hygiène buccale identique.

Rossini G. (2015) (116)	Revue systématique	5 études : Miethke et Vogt (2005) ; Miethke et Brauner (2007) ; Low et al.(2011) ; Karkhanechi et al.(2013) ; Levrini et al. (2013)	Cinq articles pertinents ont été sélectionnés parmi les 1247 articles identifiés. Le niveau de preuve était modéré pour toutes les études. Une amélioration significative des indices de santé parodontale a été observée, en particulier lorsque les aligneurs sont comparés au traitement fixe. Aucun effet secondaire parodontal n'a été observé dans les études sélectionnées pour les aligneurs.	Le traitement par aligneurs pourrait être indiqué chez des patients présentant une santé parodontale compromise. Cependant, il n'existe toujours pas de preuve solide à l'appui de cette hypothèse. Les futurs ECR sur ce sujet devraient être encouragés.
Han JY (2015) (78)	Etude comparative rétrospective	35 patients répartis en 2 groupes (19 appareils fixes, 16 aligneurs) 14 hommes, 21 femmes ; 52 ans d'âge moyen 13 traitements maxillaires 22 mandibulaires (63%)	Aucune différence significative n'a été observée entre les groupes en ce qui concerne l'indice de plaque, l'indice gingival, ou les modifications du niveau de l'os alvéolaire. Tous les indices étaient améliorés. Des différences significatives ont été observées entre les groupes en ce qui concerne la profondeur de sondage et la durée du traitement ($p < 0,05$).	Les traitements parodontal et orthodontique combinés peuvent améliorer la santé parodontale des patients, indépendamment la technique orthodontique choisie.

Aditya Chhibber (2018) (117)	Essai clinique prospectif randomisé	3 groupes (aligneurs, autoligaturants, conventionnels fixes élastomériques)	IP, IG, IBP mesurés à la pose puis à 9 et 18 mois. Seul l'IG est inférieur à 9 mois (comparaison du groupe des aligneurs avec celui des brackets conventionnels).	Aucune différence significative n'a été trouvée au sujet de l'hygiène buccale chez des sujets traités par aligneurs, brackets auto-ligaturant et brackets conventionnels ligaturés en élastomère après 18 mois. Les aligneurs ont obtenu de meilleurs scores GI et PBI par rapport aux appareils fixes.
Jian Q. (2018) (106)	Méta-analyse	10 études (3 ECR (Abbate GM, 2015 ; Levrini L, 2015 ; Machorowska-Pieniąż_ek 2016) et 7 études de cohorte (Azaripour A 2015 ; Miethke RR 2005 ; Karkhanechi M, 2013; Dubey R, 1993 ; Petti S, 1997 ; Rego RO, 2010 ; Miethke RR, 2007)	Les résultats ont indiqué que les aligneurs permettaient des conditions de santé parodontale relativement meilleures (PI, IG et PD) par rapport aux appareils fixes.	Les aligneurs sont meilleurs pour la santé parodontale que les appareils fixes, mais le niveau de preuves est modéré.
Haili Lu (2018) (105)	Méta-analyse	7 articles (ZhouQ 2014 ; Zhou WH 2014 ; Li YZ 2015 ; Huang GW 2015 ; Chu KJ 2016 ; Levrini L 2015 ; Zhou SL 2013) incluant 368 patients.	Les résultats ont montré qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre l'indice gingival (IG) et celui de la profondeur de sondage du sulculaire (SPD) entre le groupe Invisalign® et le	Les résultats de cette méta-analyse montre que les aligneurs permettent de maintenir un bon état de santé parodontale. Les aligneurs pourraient être utilisés chez des patients avec une santé parodontale

			groupe témoin, y compris à 1, 3 et 6 mois. Le groupe Invisalign® a présenté un indice de plaque (IP) et indice de saignement sulculaire inférieurs (SBI) à 1, 3 mois et 6 mois.	médiocre. Il faut plus d'études afin de supporter cette hypothèse.
--	--	--	---	---

UNIVERSITÉ DE NANTES
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Vu le Président du Jury,

A. Sequeiduy


Vu et permis d'imprimer

Vu le Doyen,


Pr Bernard GIUMELLI

MEVAERE (Audrey). Traitement orthodontique par aligneurs sur parodonte réduit : analyse de la littérature.- 101 f. ; ill. ; 157 réf. ; 30 cm. (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2019)

RESUME

Les maladies parodontales engendrent des migrations pathologiques secondaires antérieures qui sont l'un des motifs de consultation esthétique et fonctionnel des patients au parodonte réduit en cabinet d'orthodontie. Face au développement des traitements orthodontiques par aligneurs, cette thèse a pour objectif d'analyser la littérature au sujet de leurs effets sur le parodonte réduit.

La première partie de ce travail consiste à étudier le traitement orthodontique des migrations pathologiques ainsi que le rôle joué par les traitements orthodontiques fixes sur la santé parodontale.

Elle sera suivie par une comparaison des effets sur la santé parodontale, de l'efficacité, de la stabilité, de la douleur, de l'esthétique, du confort, de la rapidité du traitement, du temps passé au fauteuil et de la satisfaction entre les appareils multi-bagues fixes et les aligneurs.

Pour conclure, un cas clinique de migrations pathologiques dentaires traitées par aligneurs au centre de soins dentaire (CHU Hotel Dieu) sera développé.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Orthopédie dento-faciale

MOTS CLES MESH

Maladies parodontales – Periodontal diseases

Migration Dentaire – Tooth Migration

Orthodontie – Orthodontics

Appareils orthodontiques – Orthodontic appliances

Appareils orthodontiques amovibles– Orthodontic appliances, Removable

JURY

Président : Professeur Assem SOUEIDAN

Assesseurs : Docteur Marc-Henri NIVET

Assesseurs : Docteur Edouard LANOISELLE

Directeur : Docteur Stéphane RENAUDIN

Co Directeur : Professeur Zahi BADRAN

ADRESSE DE L'AUTEUR

4 bis rue de Feltre, 44000 Nantes
mevaereaudey@gmail.com