

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud MAMERI Tizi Ouzou

FACULTE DE MEDECINE

Département de médecine dentaire



Mémoire de fin d'étude

Présenté et soutenu à huis clos

Le 28 Septembre 2020

En vue de l'obtention du Diplôme de Docteur en Médecine
Dentaire

Thème

Invisalign® , quoi de neuf ?

Réalisé par :

- ALEM Rima
- ASSAM Karim
- HAMADENE Fatima Saadia
- REZZOUK Soumia

Encadré par :

Prof N.Kaci

Composition du jury :

MISSARA Boudjema	MAHU	Faculté de médecine	UMMTO	Président de jury
KACI Nadir	Prof	Faculté de médecine	UMMTO	Promoteur
BOUBRIT Sonia	MAHU	Faculté de médecine	UMMTO	Examinatrice

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Nous rendons avant tout grâce à Dieu qui nous a aidés à surmonter les difficultés que nous avons rencontrées tout au long de notre travail.

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos vives gratitude et notre profonde reconnaissance à notre encadreur : le Professeur KACI Nadir pour sa précieuse aide, ses conseils et sa disponibilité permanente. Nous avons eu la chance et le privilège de faire partie de votre groupe de mémoire, votre patience, vos efforts, vos compétences ainsi que votre grande expérience mise à notre disponibilité nous ont permis d'évoluer, de donner le meilleur de nous afin d'accomplir ce projet de fin d'études.

Nous tenons à remercier également les membres de jury qui nous ferons l'honneur de jurer notre travail ainsi que pour la qualité de leur enseignement tout au long de notre cursus universitaire. Veuillez accepter l'expression de notre gratitude et notre respect les plus profonds.

Nous remercions par la même occasion l'ensemble de nos enseignants qui ont fait preuve d'un grand professionnalisme durant ces années universitaires, et qui méritent toute notre admiration.

Nos remerciements à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire et qui se sont dévoués pour nous venir en aide.

Dédicaces

Tout d'abord, je remercie dieu tout puissant de m'avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail et qui m'a permis de voir ce jour tant attendu.

A mon papa , tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux , honnête et la personne méticuleuse qui n'abandonne jamais ces principes et ces valeurs , grâce à toi j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité , en cette occasion je voudrais te remercier pour ton amour , ta générosité , ta compréhension et surtout ton soutien continu malgré qu'aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour et le respect que j'ai toujours eu pour toi .

A ma mère, à la prunelle de mes yeux, à la femme qui a fait tant de sacrifices inestimables pour moi, qui m'a entouré d'amour et d'affection depuis mon existence et qui ne cesse jamais de me soutenir partout où je vais, à ma source de bonheur, à ma joie de vivre et à mon refuge éternel, si j'en suis là aujourd'hui c'est grâce à toi.

A mes deux sœurs , chacune de vous a vécu des épreuves que seuls les grands combattants peuvent y affronter tout en me donnant un exemple de force et de courage incroyable , je vous remercie toutes les deux pour cette leçon de vie inoubliable et pour votre soutien qui me rend invincible.

A mon frère, qui est toujours présent dans les moments difficiles et qui m'apporte son aide et ses encouragements sans cesse.

A mes neveux, merci d'être là pour me faire oublier mes souffrances et ma fatigue, vous savez comment me redonner le sourire qu'elle quoi soit la situation.

Que dieu vous bénisse pour moi.

Rima ALEM

Dédicaces

Je dédie ce travail :

_A mon cher père

_A ma chère mère

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

_A mes frères : Hakim, Sami, Amine

_A mes sœurs : Rima, Basma

Qui m'avaient toujours soutenu et encouragé durant les années d'études

_ Aux poussins de la maison : Anes, Adem, Abdellah

_ A mes chères amies : Fella, Beyrout, Tassaadit

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles

_A tous ceux qui ont participé à ma réussite

_A toute ma famille

Fatima Saadia HAMADENE

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents qui ont consenti beaucoup de sacrifices pour mon instruction et mon bien être afin de me permettre de réaliser mes objectifs. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

Mes très chères sœurs et leurs maris : Amina et Rachid, Djouher et Khaled, Rima et Mohammed ;

Mes très chers frères : Hocine et Sofiane ;

Mes nièces adorées : Yanel et Farah, ainsi que mon cher neveu Abd ElMonaime ;

Ma très chère amie : Zohra et sa petite famille, ainsi que tous ceux qui me sont chers ;

Mes camarades, collègues et les membres de ma grande famille et tous ceux qui ont su croire en moi.

Soumia REZZOUK

Dédicaces

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurais point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide, et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection

A mes très chers frères et ma sœur, source de joie et du bonheur

A toute ma famille, et mes amis

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour réussir ce travail. Je vous dis merci.

Karim ASSAM

Liste des abréviations

AAO = American Association Of Orthodontists.

ATM = Articulation Temporo-Mandibulaire.

CAD = Computer Aided Design (Conception Assistée par Ordinateur)

CAM = Computer Aided manufacturing (Fabrication Assistée par Ordinateur)

CAO = nombre total des dents **Cariées, Absentes** pour cause de carie et **Obturées**.

DDD = Dysharmonie Dento-Faciale.

EVA = Echelle Visuelle Analogique.

FDA = Food and Drugs Administration.

FEO = Forces Extra Orales.

IDS = Invisalign Doctor Site.

IRM = Imagerie Par Résonance Magnétique.

MBA = Master Of Business Administration= Maitrise En Administration Des Affaires.

OAA = Optimized Anchor Attachement = Attachement D'ancrage Optimisé

ORA = Optimized Retraction Attachement = Attachement De Rétraction Optimisé.

PAR = Peer Assessment Rating index = indice d'évaluation par pairs.

PVS = Polyvinylsiloxane.

RIP = Réduction Inter Proximale.

SDC = Smile Direct Club.

SLA = Stéréolithographie Apparatus = Stéréolithographie Par Photopolymérisation.

TIM = Traction Inter Maxillaire.

UPS = United Parcel Service= Service De Colis Américain.

VIP = Virtual Invisalign Practionner.

Liste des tableaux

Tableau 1: Liste des systèmes d'aligneurs commercialisés.....	7
Tableau 2: Attaches par défaut d'Invisalign.	23
Tableau 3: Un composite photo.	38

Liste des figures

Figure 1: Set Up et positionneur de Kesling.	3
Figure 2: Une gouttière de contention Biostar.	6
Figure 3: Un aligneur orthodontique.	7
Figure 4: Gouttières Clear Aligner.	8
Figure 5: Gouttières Orthocaps.	9
Figure 6: Un Aligneur Invisalign.	9
Figure 7: Effet de la force orthodontique sur la dent.	12
Figure 8: Le centre de résistance de la dent.	14
Figure 9: Le centre de rotation de la dent.	14
Figure 10: Les différentes modifications subies par la dent suite à l'application d'une force orthodontique.	15
Figure 11: Les différents déplacements dentaires.	15
Figure 12: Force d'action et force de réaction d'intensité égales et de sens opposé $F_1=F_2$	16
Figure 13: Les différents mouvements simulés par le ClinCheck.	18
Figure 14: Fonctionnement du système Invisalign.	19
Figure 15: Les attaches ovales.	20
Figure 16: Attaches rectangulaires.	21
Figure 17: Utilisation des attaches rectangulaires pour la fermeture d'espace dans le cas d'une parodontite sévère.	21
Figure 18: Attaches rectangulaires horizontales.	22
Figure 19: Attaches rectangulaires biseautées.	23
Figure 20: a, b et c : Un traitement de chevauchement dentaire.	25
Figure 21: a et b : Un traitement de diastème dentaire.	25
Figure 22: a et b : Un traitement de version canine.	26
Figure 23: a et b : Un traitement de supraclusion.	26
Figure 24: Un aligneur Invisalign Teen.	35
Figure 25: Une empreinte ne présentant pas de défaut.	37
Figure 26: Un exemple de composite photo et d'un bilan radiologique.	39
Figure 27: Un exemple de formulaire de prescription et diagnostic pour le traitement complet ou 3/3 d'Invisalign.	42
Figure 28: Une interface de travail sur le logiciel ClinCheck.	46
Figure 29: Un modèle stéréolithographique et sa gouttière correspondante.	46
Figure 30: (a) et (b) : Machines à thermoformer.	48
Figure 31: a, b, c, d, e, f et g : Protocole de mise en place des attaches avec le Template.	49
Figure 32: a et b : Kit de réduction interproximale.	51
Figure 33: Graphique comparant la prédictibilité du mouvement en fonction du temps.	52
Figure 34: a et b : Gouttière de contention Vivera.	54
Figure 35.: a, b, et c : Différents modèles du scanner iTero.	56
Figure 36: Interface de l'application Invisalign Photo Uploader.	56
Figure 37: Elasticité améliorée du SmartTrack.	57
Figure 38: Mesure de la force délivrée par SmartTrack en fonction du temps.	57
Figure 39: Coupes de précision permettant d'accrocher les élastiques ou de coler un bouton.	58

Figure 40: Optimized Rotation Attachments.	59
Figure 41: Optimized Root Control Attachments.	60
Figure 42: Optimized Multiplane Movement.....	60
Figure 43 : Optimized Extrusion Attachments.....	60
Figure 44 : Résultante de la force intrusive en présence de la zone de pression.....	61
Figure 45: Attachements deepbite optimisés pour l'ancrage de l'ingression antérieure.	61
Figure 46: Attachements deepbite optimisés pour l'égression des prémolaires.	62
Figure 47: Les rampes de précision Invisalign G5.....	62
Figure 48: Combinaison des deux technologies d'Invisalign SmartStage+ SmartForce.....	63
Figure 49: a, b, et c : Les innovations des mouvements dentaires par Invisalign G7.	64
Figure 50: Progression du traitement Invisalign à travers le temps.	67
Figure 51: Photographies intra orales accompagnées de la radiographie panoramique de la patiente.	72
Figure 52: Stabilité de la correction de l'openbite et la fermeture des diastèmes antérieurs 12 mois après la fin du traitement.	72
Figure 53: Photographies extra et intra orales avant le début du traitement.	73
Figure 54: Résultat après 10 mois de traitement.	74
Figure 55: Résultats du traitement après 21 mois.	75
Figure 56: Photographies extra et intra orales accompagnées de la téléradiographie de profil de l patiente.	75
Figure 57 : Evaluation de la rotation molaire.....	76
Figure 58: Expansion de l'arcade maxillaire.	76
Figure 59 : Coordination des arcades.	77
Figure 60 : Evaluation finale du torque incisif.....	77
Figure 61: Utilisation des TIM.	77
Figure 62 : Dossier orthodontique initiale du patient.....	78
Figure 63 : Simulation virtuelle des mouvements entre la simulation initiales et finales : a: Initiale, b: Finale, c: Comparaison.	79
Figure 64: Dossier orthodontique post traitement.....	80
Figure 65: Comparaison entre les résultats cliniques obtenus et la simulation virtuelle par ClinCheck.....	80
Figure 66 : La classification de Crosby et Lee.....	87

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
--------------------------	----------

I. LES ALIGNEURS ORTHODONTIQUES ET LE CONCEPT

INVISALIGN®.....	3
-------------------------	----------

1.1. RAPPELS HISTORIQUES	3
---------------------------------------	----------

1.1.1. Dispositif de massage dentaire de Remensnyder.	3
1.1.2. Positionneur de Kesling.....	3
1.1.3. Les gouttières invisibles de Nahoum.	4
1.1.4. Contention invisible de Ponitz	5
1.1.5. Contention invisible selon mac Namara et Amoric.....	5
1.1.6. Sheridan et le système Essix	6

1.2. PRESENTATION DU SYSTEME INVISALIGN®	7
---	----------

1.2.1. Définition d'un aligneur orthodontique.....	7
1.2.2. Invisalign®.....	9
1.2.3. Align Technology	10
1.2.4. Le principe du système Invisalign®	10
1.2.5. Les différents types de traitement par Invisalign®.....	11

1.3. BIOMECANIQUE	12
--------------------------------	-----------

1.3.1. La biomécanique appliquée à l'orthodontie	12
1.3.2. La biomécanique des aligneurs orthodontiques.....	17
1.3.3. Les principes généraux et biomécaniques appliquée à Invisalign.....	17

1.4. INDICATIONS ET CONTRE INDICATIONS DU SYSTEME INVISALIGN®	25
--	-----------

1.4.1. Les indications :.....	25
1.4.2. les contre indications	27

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

29

2.1. LE DIAGNOSTIC	29
---------------------------------	-----------

2.1.1. Anamnèse	29
2.1.2. Examen extra-oral	29
2.1.3. Examen intraoral.....	30
2.1.4. Examen des fonctions	31
2.1.5. Modèles d'études	32
2.1.6. Examens radiographiques.....	32

2.2. LA MISE EN ŒUVRE DU PLAN DE TRAITEMENT	34
--	-----------

2.2.1. Le choix du type de traitement.....	34
2.2.2. Les enregistrements cliniques.....	36
2.2.3. La transmission des enregistrements cliniques et soumission du plan de traitement.	39
2.2.4. Le traitement des empreintes et la réalisation du modèle virtuel.....	42
2.2.5. La réception et validation du ClinCheck® par le praticien	43
2.2.6. La fabrication des gouttières.....	46

2.2.7.	La réception et mise en place des gouttières	48
2.3.	LES INNOVATIONS DU CONCEPT INVISALIGN®	55
2.3.1.	Le remplacement des empreintes physiques par les empreintes optiques	55
2.3.2.	Le SmartTrack®	56
2.3.3.	L'évolution de « la série G » d'Invisalign®	58
III.	EVALUATION DE LA TECHNIQUE INVISALIGN	66
3.1.	ETUDE DE L'EFFICACITE CLINIQUE DU SYSTEME INVISALIGN®	66
3.1.1.	La durée du traitement	66
3.1.2.	La perception de la douleur et la prise d'analgésiques	67
3.1.3.	L'état parodontal	68
3.1.4.	Les mouvements orthodontiques	69
3.1.5.	La distalisation molaire	70
3.1.6.	L'extraction et la fermeture des diastèmes	71
3.1.7.	L'Openbite	71
3.1.8.	Le Deepbite	74
3.1.9.	Classe II d'Angle	76
3.1.10.	Classe III, traitements chirurgico-orthodontiques	81
3.2.	LES AVANTAGES DE LA TECHNIQUE	82
3.3.	INCONVENIENTS DE LA TECHNIQUE	84
3.4.	EFFICACITE CLINIQUE ET LIMITES DE LA TECHNIQUE	86
IV.	CONCLUSION	89
V.	BIBLIOGRAPHIE	90
RESUME	91

INTRODUCTION

Au fil des années, les exigences esthétiques des patients, notamment adultes, ne cessent d'augmenter. De ce fait, des innovations constantes dans le domaine de l'orthodontie se sont développées. Il s'agissait dans un premier temps des brackets en céramique puis de l'orthodontie linguale, qui, à leurs tours, ont apporté de multiples avantages.

Cependant, une autre piste a émergé, depuis, avec l'utilisation des aligneurs dentaires, qui consiste à faire porter aux patients, une série de gouttières successives transparentes thermoformées. Il existe plusieurs systèmes d'aligneurs et parmi eux le système Invisalign®, ce dernier est inspiré des travaux du Dr Kesling (1945) et du Dr Sheridan (1993), et qui a remarquablement évolué à travers le temps avec l'évolution technologique des différents matériels et matériaux de ce domaine.

Néanmoins, ces déplacements dentaires dans les trois sens de l'espace, peuvent-ils être contrôlés avec autant de précision que d'esthétique? Peut-on instaurer une thérapeutique dont le succès dépend dans la majeure partie de la participation et la coopération du patient, aussi bien chez un adulte que chez un enfant? Le système INVISALIGN® garantit-il le succès du traitement orthodontique, mais surtout sans récurrence?

Notre mémoire de fin d'étude portera sur les traitements orthodontiques utilisant cette technique, tout en étudiant sa mise en œuvre, ses avantages et inconvénients, ainsi que son efficacité thérapeutique.

Chapitre I :
LES ALIGNEURS
ORTHODONTIQUES ET
LE CONCEPT
INVISALIGN®

1.1. RAPPELS HISTORIQUES

Le traitement orthodontique par gouttières transparentes n'est en réalité pas l'essor du 21ème siècle. En effet, ce concept remonte aux premières décennies du 20ème siècle quand, Dr Kesling proposa l'utilisation d'une gouttière pour déplacer des dents au lieu de faire l'objet d'une contention habituelle.

1.1.1. Dispositif de massage dentaire de Remensnyder.

En 1923, Remensnyder observe des déplacements dentaires secondaires au port de son appareil de traitement de la parodontite appelé le Flex-O-Tite (Gum Massaging Appliance)¹. Ce qui l'a amené, en 1949 ; à breveter une gouttière en caoutchouc souple s'adaptant aux dents du patient ainsi qu'aux tissus gingivaux sous le nom de « Orthodontic Appliance»².

1.1.2. Positionneur de Kesling

Le positionneur de Kesling est né d'un désir de créer un appareil simple qui influencera toutes les dents de façon à se positionner dans leurs meilleure position possible ; sans avoir recours aux brackets ni aux fils. Une technique qui sera efficace même sous l'action des forces fonctionnelles, et qui produira une forme d'arcade en fonction du type facial ; c'est-à-dire atteindre l'harmonie entre les caractéristiques du visage et la disposition des dents, et qui servira de contention pour conserver les résultats obtenus ci-dessus³.

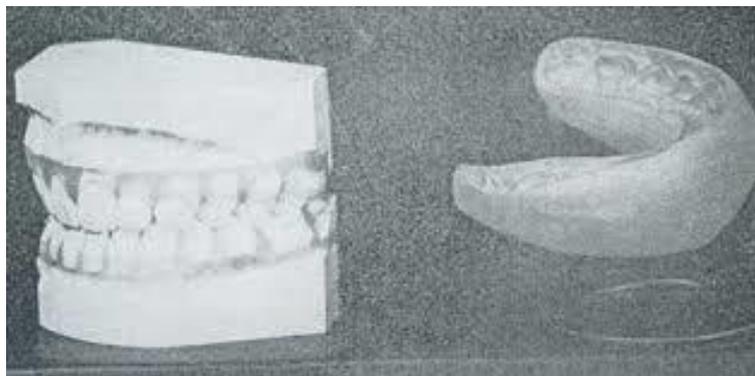


Figure 1: Set Up et positionneur de Kesling.

Au fur et à mesure que cet appareil a été développé, il s'est avéré être le plus efficace pour le positionnement artistique final et la contention des dents après que le traitement de base en multi-attache ait été accompli. Le traitement de base ne doit être effectué que jusqu'à ce que chaque dent soit proche de sa position idéale.

La forme de l'arcade n'a pas besoin d'être idéale, de légers espaces peuvent rester, des supraclusions peuvent persister et les relations méso-distales ou vestibulo-linguales des dents n'ont pas besoin d'être parfaites.

À ce stade, toutes les bagues et les fils sont supprimés et des empreintes sont prises immédiatement, à partir desquelles, deux modèles sont préparés à base de plâtre dur. L'un des modèles est utilisé pour réaliser le set-up et l'autre est utilisé pour le contrôle.

Les modèles du set-up sont montés sur articulateur et l'occlusion est ouverte jusqu'à obtention de la position de repos physiologique. Une fois terminé, le set-up est utilisé comme modèle sur lequel le positionneur est élaboré.

Le positionneur est en effet un appareil en caoutchouc flexible monobloc conçu pour remplir complètement l'espace libre entre les arcades dentaires supérieure et inférieure, ainsi que pour couvrir les surfaces vestibulaires, palatines et linguales des dents.

Le matériau du positionneur lui permet de s'étirer sur les dents et, pendant qu'il est porté, sa résilience influence chaque dent vers sa position prédéterminée dans le modèle du set-up.

L'expérience a montré que de cette manière la forme d'arcade peut être modifiée, de **légères rotations** peuvent être corrigées et la **position axiale** peut être influencée.

D'après Kesling, Lorsque le positionneur est appliqué, après avoir effectué les principaux déplacements orthodontiques, profite d'une certaine « malléabilité » parodontale, car les dents sont plus sensibles à des forces douces, « les dents sont instables suite à une manipulation précédente et réagissent très facilement à l'influence du positionneur ».

Enfin, Harold Kesling précise que si l'on désire effectuer davantage de déplacements avec le positionneur, il suffit de réaliser une série d'appareils, au fur et à mesure de l'évolution du traitement et de l'achèvement de l'étape précédente : plusieurs modèles set-up devront être réalisés.

1.1.3. Les gouttières invisibles de Nahoum.

En 1964, Nahoum présente un appareil formé sous vide : "Vacuum Formed Dental Contour Appliance" ; il s'agit de gouttières thermoformées en plastiques thermiques (acétate, butyrate, polyéthylène, styrène ou vinyl), dont l'épaisseur varie de .010 à .040 inches.⁴

Ces gouttières invisibles sont utilisées dans différents domaines : **parodontal** ; comme attelle pour des dents mobiles, **chirurgical** ; pour favoriser l'hémostase, ainsi qu'en **prothèse** comme « moule » pour fabriquer des couronnes ou des bridges provisoires. Tandis que l'intérêt **orthodontique** de l'appareil est :

- 1- **La contention** en fin de traitement
- 2- Des déplacements dentaires pour la **fermeture d'espaces antérieurs** ou la correction de **légères rotations**.
- 3- « **La suppression d'habitudes déformantes** » : succion du pouce, interposition linguale. Dans ce cas, la gouttière est fabriquée sur la surface vestibulaire des dents en occlusion (sur les modèles en plâtre).
- 4- support possible de **force extra-orale** pour un recul en masse ou d'élastiques intermaxillaires.

Nahoum limite le plus souvent les indications de cet appareil **aux secteurs antérieurs** (six dents antérieures). L'appareil est thermoformé sous vide à partir d'un set-up, les excès sont éliminés, l'appareil est nettoyé et placé en bouche ; le déplacement dentaire est obtenu donc grâce à la pression exercée sur les dents qui tendent à rejoindre leurs positions équivalentes sur le set-up.⁴

Cependant, si la correction à réaliser est trop importante pour être réalisée en une étape, l'opération est donc répétée jusqu'à obtention du résultat escompté par utilisation de plusieurs gouttières fabriquées à partir de différents set-up. Une fois que les dents sont alignées, la dernière gouttière sert de dispositif de contention⁴.

1.1.4. Contention invisible de Ponitz

En 1971, Ponitz présente un **appareil similaire** à celui de Nahoum, qu'il nomme « Invisible Retainer ». Ce dispositif est thermoformé **par aspiration** et sous vide sur un maître modèle sur lequel les dents sont positionnées de façon idéale⁵.

1.1.5. Contention invisible selon Mac Namara et Amoric

Aux Etats-Unis, en 1985, Mac Namara s'est inspiré des travaux de Ponitz et a introduit la première gouttière thermoformée **par pression** à visée orthodontique (système Biostar ®) et a élargi ses indications aux déplacements dentaires de **faible ampleur**, un minimum de dents doivent être déplacées et pas les molaires⁶.

Sur un modèle de travail, après enregistrement des rapports intermaxillaires, des corrections mineures peuvent être effectuées (stabilisées par la cire). Cependant, **Mac Namara** précise bien que la gouttière sera **inefficace** si **plus d'une dent par quadrant est mobilisée** et rapporte **des succès** dans les cas de déplacements **des incisives, canines et prémolaires** ; mais **pas des molaires**^{6, 7}.

En France, **Amoric** présente au milieu des années 1980 de nombreuses applications du thermoformage : monoblocs, propulseurs de Herbst, disjoncteur, gouttières de finition⁸



Figure 2: Une gouttière de contention Biostar.

1.1.6. Sheridan et le système Essix

En 1985, **Sheridan** propose le système ESSIX®, basé sur l'utilisation des gouttières qui servent à la fois de contention et d'appareil orthodontique actif. Il s'agit d'une technique qui associe la **réduction amélaire interproximale « stripping »** à un alignement dentaire progressif. Cette technique est basée sur les mêmes principes que ceux de Kesling: chaque mouvement dentaire nécessite une nouvelle empreinte pour réaliser un nouveau set-up puis une nouvelle gouttière^{9, 10}

Le système Essix® est un système biomécanique impliquant l'utilisation d'un appareil en plastique amovible. La réalisation de l'aligneur débute par l'enregistrement d'une empreinte à la silicone en technique du double mélange (Wash technique), les modèles sont coulés puis les gouttières sont fabriquées à l'aide d'un thermoformage sous vide (système Biostar) d'une feuille plastique de la famille des copolyesters (.075 mm). Différentes feuilles de plastique sont proposées en fonction de l'utilisation des gouttières et la durée du traitement (Essix C+ ; Essix A+ ; Essix Embrace ; Essix U-C-Me). Pendant le thermoformage, l'épaisseur du plastique est réduite de .030'' à .015''¹¹.

1.2. PRESENTATION DU SYSTEME INVISALIGN®

1.2.1. Définition d'un aligneur orthodontique

Un aligneur est une gouttière transparente amovible en polymère thermoformable qui permet le déplacement dentaire par l'application de force de faibles amplitudes¹².



Figure 3: Un aligneur orthodontique.

Source : Clinique dentaire Nu Cuoï Duyen, « L'essentiel à savoir concernant les aligneurs », 2017

Jusqu'à présent, il existe plusieurs systèmes d'aligneurs orthodontiques commerciaux, parmi eux nous citons les plus connus : Clear Aligner®, Orthocaps® et Invisalign®.

Tableau 1: Liste des systèmes d'aligneurs commercialisés.

Nom du système	Site Web
Clear Aligner	www.clear-aligner.eu
ClearStep	www.clearstep.co.uk
ECligner	www.ecligner.eu
Elasto-Aligner	www.dr-hinz-kfo-labor.de
Essix	www.essix.com
Essix PLUS	www.essix.com
Harmonieschiene	www.harmonieschiene.de
Invisalign	www.invisalign.de
Originator	www.tportho.com
Orthocaps	www.orthocaps.de
Simpli5	www.ormcoeurope.com/du/produkte/simpli5

Source : Richter et Jung, « Possibilités et limites du traitement orthodontique par aligneurs », 2017

Clear Aligner®¹³

En 1998, T.W.Kim crée le système Clear Aligner basé sur l'utilisation de trois gouttières successives par étape de traitement. Ces dernières sont thermoformées sur le même set-up, et sont réalisées à partir de 3 feuilles de DURAN® (polyéthylène téréphtalate glycolisé) d'épaisseur croissante : 0,5 mm (CA Soft), 0,62 mm (CA Medium) et 0,75 mm (CA Hard), et par conséquent un degré différent d'élasticité.

Les aligneurs peuvent être fabriqués au sein du laboratoire du praticien avec une machine de moulage sous pression, tandis que le set up est fabriqué de manière centralisée.

Depuis 2007, Clear Aligner est commercialisé en Allemagne par la société Scheu Dental, et depuis, il a été développé en un système entièrement assisté par ordinateur à partir de 2010.



Figure 4: Gouttières Clear Aligner.

Le système Orthocaps®¹⁴.

En 2006, Wajeeh Khan développe un utilisant des forces légères afin d'obtenir de meilleures finitions de traitement. Ce système est basé sur le port de deux gouttières en alternance par étape de traitement d'où le nom de « Twin Aligner ». La première gouttière dite rigide (hardCAPS) est portée pendant la journée, tandis que la deuxième plus souple (softCAPS) est portée pendant la nuit.

Chacune des gouttières doit idéalement être portée 10 heures, soit un total de 20 heures par jour pendant une durée moyenne de 3 semaines. Le traitement peut être partiel ou global, mono- ou bi-arcade. Ce système reprend le concept de set-up virtuel et de conception et confection assistées par ordinateur.



Figure 5: Gouttières Orthocaps.

Dans ce travail nous ne promouvons pas certains systèmes d'aligneurs mais nous nous concentrerons davantage sur la description des systèmes les plus couramment utilisés notamment le système Invisalign®, car il s'agit du système le plus ancien et le plus utilisé, avec une grande quantité de recherche et un grand nombre de documents disponibles dans les bases de données de recherche.

1.2.2. Invisalign®

Invisalign est un système industrialisé de traitement orthodontique qui consiste à porter une série d'aligneurs en plastique médical biocompatible (polycarbonate) thermoformés, amovibles et confortables. Ces gouttières sont thermoformées sur mesure et donc personnalisées pour chaque patient. Le système Invisalign® permet d'effectuer une planification de la totalité du traitement envisagé à l'avance¹⁵.



Figure 6: Un Aligneur Invisalign.

1.2.3. Align Technology

Align Technology ; fournisseur original du système Invisalign ; a vu le jour en mars 1997 et a été incorporée au DELAWARE en avril 1997. Tout a commencé par deux étudiants en MBA de l'université de Stanford : Zia Chishti et Kesley Wirth avec un ami informaticien dans un garage de Palo Alto en Californie. Une récurrence d'encombrement incisif mandibulaire, oblige Zia Chishti à reporter un positionneur de finition et par conséquent à subir un lent processus de correction. Cette expérience l'a amené finalement à imaginer un concept thérapeutique qui consiste à déplacer les dents par une succession de gouttières transparentes thermoformées, à la place des brackets et fils orthodontiques¹⁵.

La compagnie utilise un système en perpétuelle amélioration et a fini par recevoir l'accréditation de la FDA (Food and Drugs Administration) en 1998 après validation de son intérêt clinique et thérapeutique. Le système Invisalign a été présenté pour la première fois au congrès de l'AAO (American Association of Orthodontists) à San Diego en 1999 et est arrivé en France et en Europe en 2001.

Actuellement, son siège social est situé au 2560 ; Orchard Parkway, San Jose, Californie 95131 USA, tandis que son siège social international est à Amsterdam, Pays-Bas.

Align Technology est aussi le fournisseur des gouttières transparentes à SMILE DIRECT CLUB, LLC (SDC : *SmileDirectClub, Inc.*) qui les vend directement aux consommateurs, avec une ordonnance approuvée par un médecin.

1.2.4. Le principe du système Invisalign®

Le système repose sur le port régulier d'une série d'aligneurs en polycarbonate pendant 300 heures (deux semaines) jour et nuit ; en raison de 22 heures par jour.

Le processus démarre après la première consultation durant laquelle le praticien effectue une série d'enregistrements cliniques (empreintes conventionnelles en PVS ou optiques des arcades dentaires et de l'occlusion, des photographies intra et extrabuccales, des documents radiographiques dentaires et crâniens). Ceux-ci doivent être numérisés et envoyés sur une plateforme en ligne ainsi que les choix de traitements.

Le diagnostic et le plan de traitement indiqués par le praticien sont la base de la fabrication d'un fichier infographique appelé ClinCheck® qui permet alors à des techniciens d'établir une simulation thérapeutique en CAO. Le ClinCheck® (set-up) représente alors un modèle virtuel en 3D animé (sous forme de vidéo) montrant la succession des différentes étapes de déplacements dentaires, de la situation initiale jusqu'au résultat escompté.

Le praticien valide alors son choix en ligne et fixe des objectifs thérapeutiques après avoir validé ou modifié le ClinCheck®. Suite à cela commence la fabrication d'aligneurs par Align Technology® (fabrication industrialisée basée sur la stéréolithographie et le thermoformage). Ceux-ci seront renvoyés au praticien qui les remettra au patient au fur et à mesure de son traitement.¹⁵

1.2.5. Les différents types de traitement par Invisalign®

Au départ, Align Technology offrait trois possibilités de traitements¹⁵:

- **Le traitement complet** ; connu sous le nom de « Invisalign Full » ; est le traitement le plus couramment prescrit et le plus long (12 à 30 mois) car il concerne toutes les dents des deux arcades. Il peut être utilisé pour les cas complexes notamment :
 - Les décalages sagittaux avec mouvement des dents postérieures (mésialisation, distalisation, extractions, préparations chirurgicales).
 - Les décalages transversaux avec correction d'endoposition et d'exoposition des dents postérieures (inversé d'articulé ou arcade en « lyre »).
 - Les malpositions dentaires avec corrections de rotations ou versions des dents postérieures (encombrement, extractions non compensées, préparation prothétique).C'est une approche à visée fonctionnelle et esthétique.
- **Le traitement 3/3**, c'est un traitement plus court de durée car il intéresse des corrections des 6 dents antérieures uniquement des deux arcades (canine à canine). Les malpositions pouvant être corrigé par ce type sont :
 - Les décalages sagittaux ou transversaux ne concernant pas la totalité des arcades dentaires (inversé de l'articulé antérieur).
 - Les encombrements antérieurs pouvant être traités avec stripping et/ou vestibulisation.
 - Les malpositions dentaires avec corrections de rotations ou de versions des dents antérieures (ex : récurrence antérieure après traitement multi-attache).C'est une approche principalement à visée esthétique.
- **Le traitement « Express »** ; qui est de plus courte durée ; fonctionne de la même manière que le traitement complet mais avec 10 étapes d'aligneurs seulement ou moins (**Invisalign Express 10®**).

La réduction du nombre d'aligneurs utilisés implique un nombre très limité de problèmes que peut corriger ce système. Il s'agit de problèmes orthodontiques simples.

 - 2 mm d'espacement ou d'encombrement par arcade.
 - 2 mm de correction de ligne médiane incisive.

En **2012**, Align Technology introduit **Invisalign Express 5®** qui utilise 5 aligneurs destiné aux traitements les plus courts nécessitant pas plus de 5 jeux de gouttières, elle constitue également l'offre la plus abordable d'Invisalign.

1.3. BIOMECANIQUE

1.3.1. La biomécanique appliquée à l'orthodontie

Dans le cadre de la correction des anomalies dentoalvéolaires, l'orthodontiste applique une force agissant sur le système dentaire (orthodontie) et au niveau basale (orthopédie) dans le but d'obtenir un déplacement dentaire avec un minimum d'effets indésirables.

Les principes de la biomécanique orthodontique¹⁶ :

➤ La force :

La grandeur de type vectoriel, c'est l'action d'un corps sur un autre. En orthopédie dento-faciale, on parle d'une force dont l'action s'applique au niveau dento-alvéolaire.

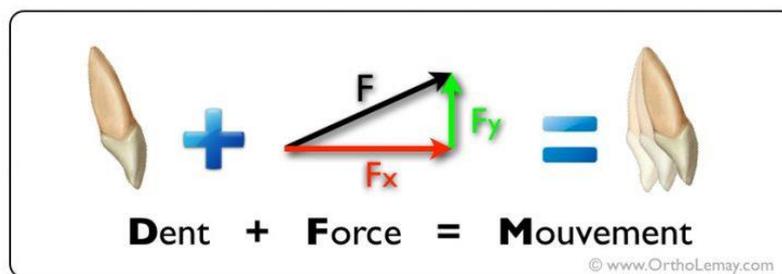


Figure 7: Effet de la force orthodontique sur la dent.

Les forces délivrées par les appareillages orthodontiques peuvent être : intrinsèques / extrinsèques

-Les forces intrinsèques : ici, on parle des appareillages qui ne délivrent pas de forces eux-mêmes, mais agissent par l'action des muscles environnants pour corriger l'anomalie, c'est le cas par exemples des appareillages fonctionnels, les activateurs.....etc.

-Les forces extrinsèques : les appareillages qui délivrent des forces et peuvent être : fixe/amovible

La force se caractérise par :

- L'intensité
- La direction
- Le rapport moment/force (point d'application)
- Le rythme d'application

L'intensité : l'application d'une force sur la couronne engendre une pression au niveau du desmodonte. Les forces orthodontiques sont dites «biologiques» car elles sont comprises entre :

I. LES ALIGNEURS ORTHODONTIQUES ET LE CONCEPT INVISALIGN

Un seuil minime : capable de faire apparaître des cellules qui résorbe l'os

Un seuil maximum : qui diffère selon :

Le seuil de sensibilité du patient

L'apparition de lésions irréversibles au niveau de la dent, l'os et le desmodonte

C'est pour cela en orthodontie, les forces légères sont plus préférables.

La direction : on parle de :

Forces verticales dans le sens de l'éruption ou dans le sens opposé

Forces horizontales ou obliques dans le sens mésio-distal ou vestibulo-lingual.

Le rapport moment/force (M/F) : il s'agit du point d'application du système de force par rapport au centre de résistance. $M = F \times d$

Lorsqu'une force est appliquée sur une dent, deux éventualités se présentent :

Si elle passe par le centre de résistance donc le moment est nul, on aura un mouvement unique dans le sens de la force = translation pure

Si elle ne passe pas par le centre de résistance, on aura un mouvement double : la dent effectue une rotation autour de son grand axe et dans son ensemble par rapport à un repère pris à distance = mouvement de rotation

Le rythme d'application : (influence sur la qualité histologique de la réponse)

On distingue :

- Des forces continues : on parle de forces « légères » (énergie très progressivement décroissante)
- Des forces discontinues : on parle de forces « lourdes » (énergie qui diminue très rapidement dès que la dent commence à se déplacer)
- Des forces intermittentes : l'application d'une force est suivie par une période de repos de longue durée (FEO 14h /j).

Le couple de force : il s'agit de deux forces parallèles d'égale intensité, de sens opposé, et d'un point d'application différent, capable d'engendrer un mouvement de rotation.

➤ le centre de résistance (centroïde) :

Il faut savoir que la dent ne résiste pas au déplacement, elle ne fait que transmettre les forces, c'est l'environnement osseux et desmodontal qui le font.

Le centroïde est défini par le point à partir duquel un système de force appliqué produit un déplacement de translation pure

I. LES ALIGNEURS ORTHODONTIQUES ET LE CONCEPT INVISALIGN

Sa localisation est indépendante du système de force appliqué, elle dépend de la dent et de son parodonte, et c'est selon :

- La longueur et la forme des racines
- La hauteur de l'os alvéolaire et de sa densité

Approximativement, il se retrouve :

- Entre le milieu et le tiers apical de la racine pour les dents monoradiculées
- La zone de furcation pour les pluriradiculées

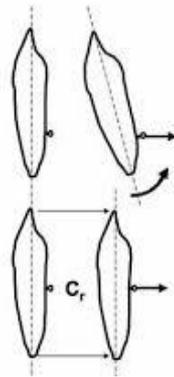


Figure 8: Le centre de résistance de la dent.

- Le centre de rotation (l'hypomochlion) :

Une force simple appliquée à distance du centre de résistance détermine un centre de rotation autour duquel tourne la dent, sa situation dépend du système de force utilisé et les besoins du plan de traitement.

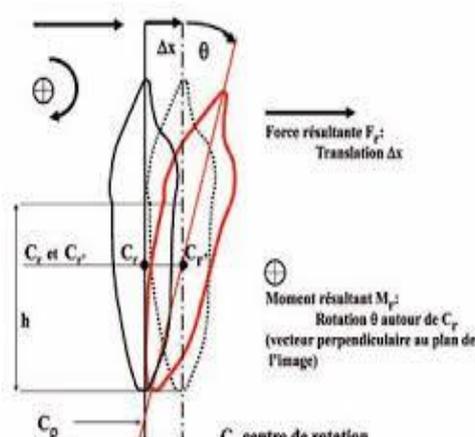


Figure 9: Le centre de rotation de la dent.

I. LES ALIGNEURS ORTHODONTIQUES ET LE CONCEPT INVISALIGN

➤ Notion du déplacement dentaire :

Une force appliquée sur une dent provoque des zones de tensions et de pressions sur le desmodonte, os alvéolaire et cément avec apparition des phénomènes de résorptions et d'appositions osseuses qui permettent le déplacement dentaire.

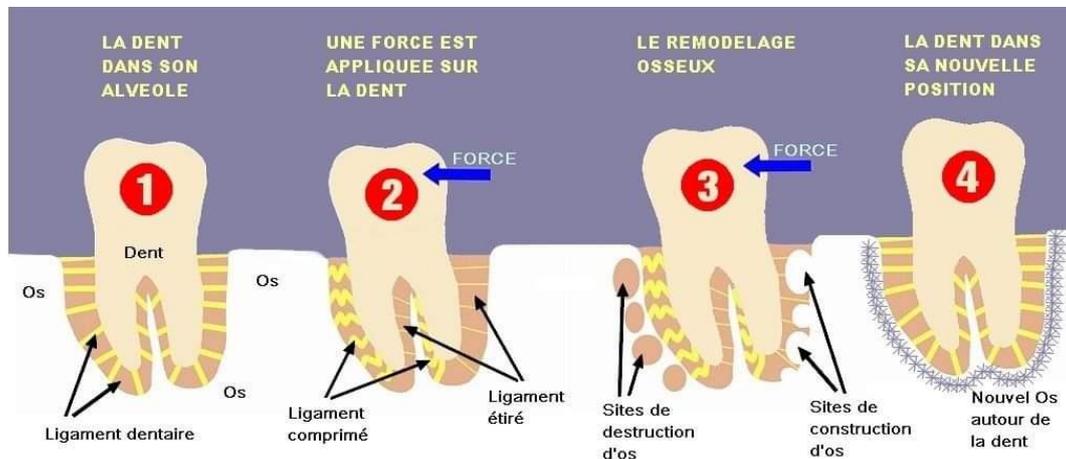


Figure 10: Les différentes modifications subies par la dent suite à l'application d'une force orthodontique.

➤ les différents types de déplacements dentaires :

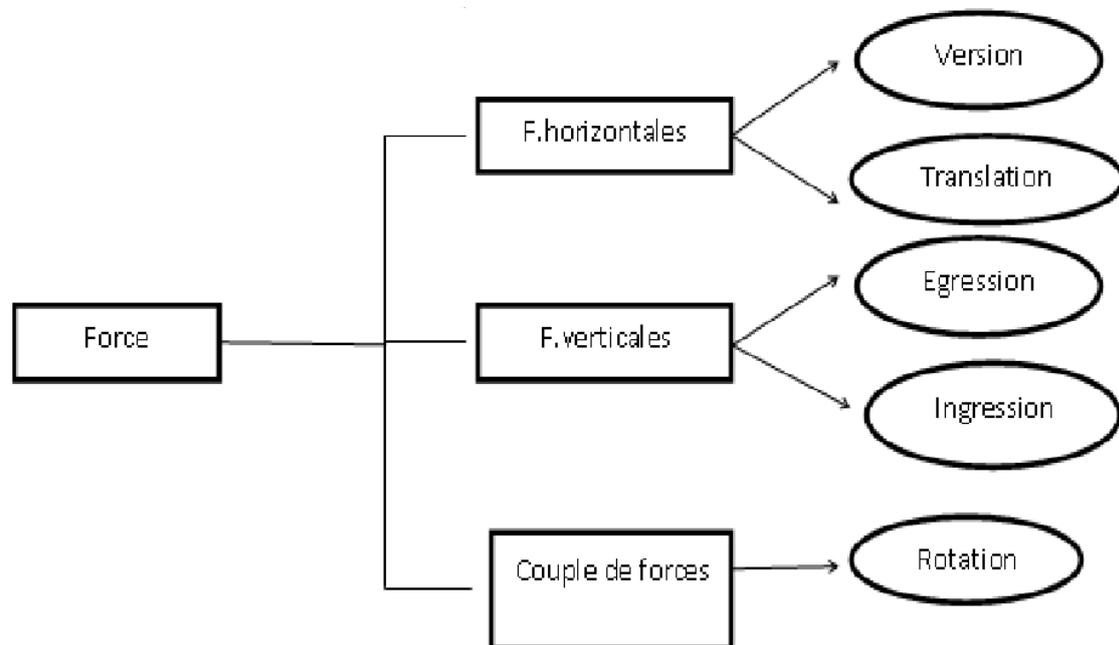


Figure 11: Les différents déplacements dentaires.

I. LES ALIGNEURS ORTHODONTIQUES ET LE CONCEPT INVISALIGN

a)-version : c'est le mouvement le plus facile à obtenir, la dent effectue un mouvement de bascule autour du centre de rotation donc : déplacement corono-radicaire simultané mais en sens inverse

- la version coronaire : l'hypomochlion est au niveau radicaire plus près de l'apex que le centroïde

- la version radicaire : l'hypomochlion est au niveau coronaire (possible uniquement avec les dispositifs fixes complexes permettant de déplacer les apex «effet de torque»)

b)- translation (gression) : le système de force est appliqué au niveau du centre de résistance, la dent effectue un mouvement parallèle à son axe

c)- égression : mouvement physiologique dans le sens d'éruption de la dent

d)- ingression : mouvement plus ou moins risqué car non physiologique et risque de provoquer une résorption radicaire s'il n'était pas bien contrôlé

e)- rotation : C'est un mouvement de la dent autour de :

- son axe (rotation axiale)

- autour d'un axe parallèle à son grand axe (rotation marginale).

f)-torque : mouvement vestibulaire ou lingual de la racine utilisé pour le redressement de l'axe dentaire.

➤ l'ancrage :

C'est la résistance d'un corps au déplacement, lorsqu'un corps se déplace, les forces motrices l'emportent sur les forces de résistances. La valeur de l'ancrage dépend de :

- la surface radicaire de la dent
- le nombre de dent incluse dans l'ancrage

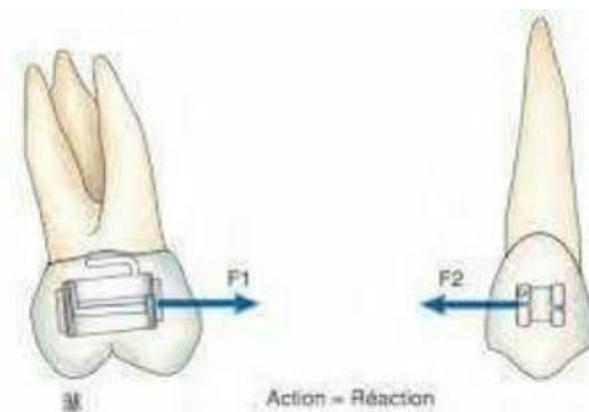


Figure 12: Force d'action et force de réaction d'intensité égales et de sens opposé $F1=F2$.

1.3.2. La biomécanique des aligneurs orthodontiques

La surface de l'aligneur recouvre la quasi-totalité de la couronne dentaire et avec des contacts intimes ce qui permet :

- d'optimiser le mouvement
- une parfaite transmission des informations car l'action est ciblée et programmable

Son efficacité n'est possible qu'au delà d'un port de 22h/j ce qui nous développe * des forces continues*

En comptant les 2h de brossage et d'alimentation on aura * des forces discontinues* permettant de longues périodes de repos tissulaires favorables à la réorganisation parodontale tout en évitant les résistances cellulaires

Les forces engendrées ne sont appliquées que sur les dents à déplacer, l'autre servant d'ancrage

Transmission des informations ¹⁶:

La fabrication précise et sur mesure de l'aligneur indique un contact assez intime entre son intrados et la couronne permet une parfaite transmission des informations aux dents dès la première étape.

Remarque : l'anatomie de la dent n'influe pas sur le positionnement de l'aligneur, comme il peut être posé sur des prothèses, des reconstitutions.....etc.

Le traitement par aligneur exige un port d'environ 1 à 2 semaines en moyenne, dont chacun permet jusqu'à 1° de torque, 2° de rotation et environ 0.25 mm de déplacement.

1.3.3. Les principes généraux et biomécaniques appliquée à

Invisalign

BARRY GLASER a défini cinq principes fondamentaux que chaque praticien devrait connaître avant l'utilisation de l'Invisalign® ¹⁷:

- 1- Les aligneurs fonctionnent uniquement en poussant les dents, ils ne tirent pas
- 2- Ils effectuent plusieurs mouvements à la fois
- 3- L'ancrage est requis pour un mouvement efficace
- 4- Le CLINCHECK est une nécessité absolue
- 5- Les dents ont besoin d'espace pour se déplacer

Principe n°01 : les aligneurs fonctionnent uniquement en poussant les dents, ils ne tirent pas :

Il est très important de reconnaître les surfaces de poussée sur les dents elles-mêmes ou sur les attachements placés sur les dents pour obtenir les mouvements souhaités, nous avons besoin

I. LES ALIGNEURS ORTHODONTIQUES ET LE CONCEPT INVISALIGN

de l'interaction d'une surface d'alignement avec la dent ou la surface active d'un accessoire pour réaliser le déplacement. Tirer ne fonctionnera pas : une surface d'alignement qui tire se dégagera facilement de la dent.

Le concept fondamental à retenir est que si le praticien arrive à développer une surface de poussée appropriée sur une dent, ses chances de déplacement dans la direction souhaitée augmentent considérablement. « Penser à pousser les dents, et vous êtes entrain de regarder le CLINCHECK d'une toute nouvelle façon » BARRY J GLASER

Principe n°02 : plusieurs mouvements effectués à la fois

Ce principe parle d'un des avantages du système INVISALIGN®, dans les échantillons du CLINCHECK, on peut observer qu'on peut, simultanément, serrer les dents, les faire pivoter et les aligner.



Figure 13: Les différents mouvements simulés par le ClinCheck.

Principe n°03 : l'ancrage est requis pour un mouvement efficace :

Le terme d'ancrage est utilisé tout le temps avec les appareils fixes conventionnels, GLASER l'utilise un peu différemment pour le système INVISALIGN® et propose comme exemple le cas d'un overbite antérieur important où le processus de sa correction passera par une combinaison de 30% d'ingression des incisives supérieures et 70% d'ingression des incisives inférieures.

En prenant en considération le principe n°01 et la 3ème loi de NEWTON, la force d'action est bien l'aligneur qui pousse les incisives inférieures tandis que la force de réaction à tendance à soulever l'aligneur des dents postérieures ce qui nous fait perdre la force de poussée souhaitée sur les incisives inférieures et c'est pour cela qu'on a recours aux attachements type rectangulaires qui vont empêcher le délogement postérieur de l'aligneur.

Principe n°04 : le ClinCheck est une nécessité absolue

Chaque plan de traitement CLINCHECK contient une quantité considérable de science et d'ingénierie, et les techniciens D'ALIGN TECHNOLOGIE possèdent des algorithmes assez sophistiqués afin d'obtenir les mouvements dentaires désirés, de plus, les avancées dans les fonctionnalités SMARTFORCE et les matériaux d'alignement SMARTTRACK ont révolutionné le traitement de l'alignement transparent au point où, pour GLASER, INVISALIGN® est l'appareil de choix dans la plupart des situations.

Ce qu'on doit retenir comme point clé, c'est que lorsque nous regardons le plan ClinCheck, on ne regarde pas les dents, on regarde le système de forces agissant sur les dents.

Principe n°05 : les dents ont besoin d'espace pour se déplacer

Ce principe est court et direct mais reste fondamental, il nous faut de l'espace pour qu'une dent arrive à se déplacer de la position A à la position B d'où l'intérêt de vérification des contacts étroits à l'examen clinique.

C'était les cinq principes fondamentaux établis par GLASER sur lesquels se base l'Invisalign®, mais leur application correcte nécessite une parfaite compréhension de la méthode de fonctionnement de cette technique ainsi que ses principes biomécaniques.

Il faut savoir que dans ce système orthodontique on parle d'une «décomposition du mouvement à effectuer», c'est-à-dire pour chaque dent à déplacer d'une position A à une position Z, chaque gouttière représente une position B puis C et ainsi de suite jusqu'à la position finale Z à atteindre et ceci pour tout type de déplacement dont l'amplitude moyenne est de 0.25mm à 0.33mm par dent, et pour des effets thérapeutiques optimaux, le patient doit porter la gouttière 22h sur 24 pour une période consécutive de 14 jours (et parfois plus). Les deux heures de retrait sont destinées à l'alimentation et le brossage.

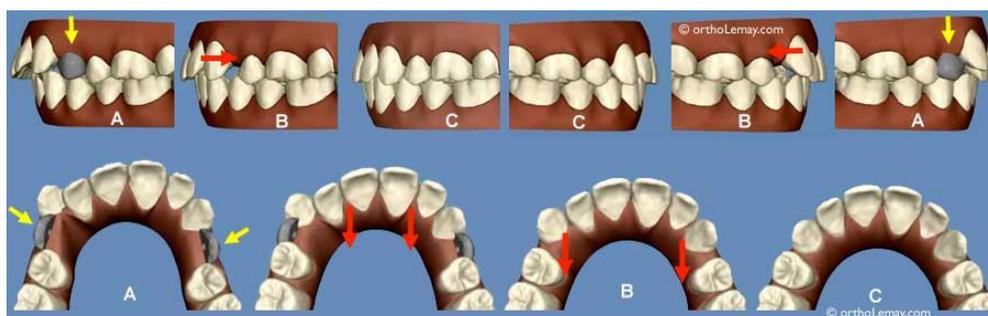


Figure 14: Fonctionnement du système Invisalign.

A la différence des appareils fixes, les mouvements dentaires réalisés avec INVISALIGN® ne sont pas constants puisque les forces appliquées diminuent de façon exponentielle : une gouttière appliquera la force idéale alors que la suivante appliquera une force assez basse, cette dernière se fait grâce au contact intime entre la gouttière et la dent ce qui crée la rétention et l'activation permettant les mouvements ; une rétention due aux contre-dépouilles naturelles de la dent, et une activation obtenue par la déformation élastique de la gouttière. Cette déformation a ses limites ce qui explique la difficulté de certains mouvements tels que

le torque et le parallélisme des racines **d'où l'intérêt -encore une fois- de l'utilisation des attachements.**

Au début de son introduction, Invisalign® était réservé uniquement pour les cas peu compliqués et les malocclusions légères ce qui a limité son utilisation malgré la haute discrétion que ce système offre, et face aux patients souffrant de malocclusions sévères l'orthodontiste a besoin d'une force supplémentaire pour effectuer le mouvement dentaire nécessaire et c'est là que les attachements entre en jeu. Ces minuscules pièces jointes à la forme d'une bosse/bouton sont directement liées aux dents par le composite dentaire et placés à des endroits précis sans empêcher le patient à profiter des avantages de son appareil orthodontique et sans influencer sur l'esthétique de son sourire puisqu'elles sont conçues pour être de la même couleur que ses dents.

Placés généralement au milieu des dents, ces attachements vont servir d'ancrage aux aligneurs permettant ainsi une meilleure adaptation contre les dents et donc un meilleur fonctionnement, tandis que leurs formes varient selon l'indication et l'objectif désiré. La compagnie d'Align Technology propose un guide des attaches placées par défaut mais le choix final du type, l'emplacement et le moment de pose et de retrait est sous la responsabilité du médecin traitant.

Les attaches ovales : les premières apparues, indiquées pour :

- Le mouvement d'égression dentaire sur les incisives, en position horizontale (car plus discrète) dans le but de fermer la béance antérieure, dans ce cas la désinsertion de l'aligneur est plus faible vu le nombre important d'attaches.
- La rétention de l'aligneur en bouche, en position verticales généralement posées par défaut sur les premières prémolaires.

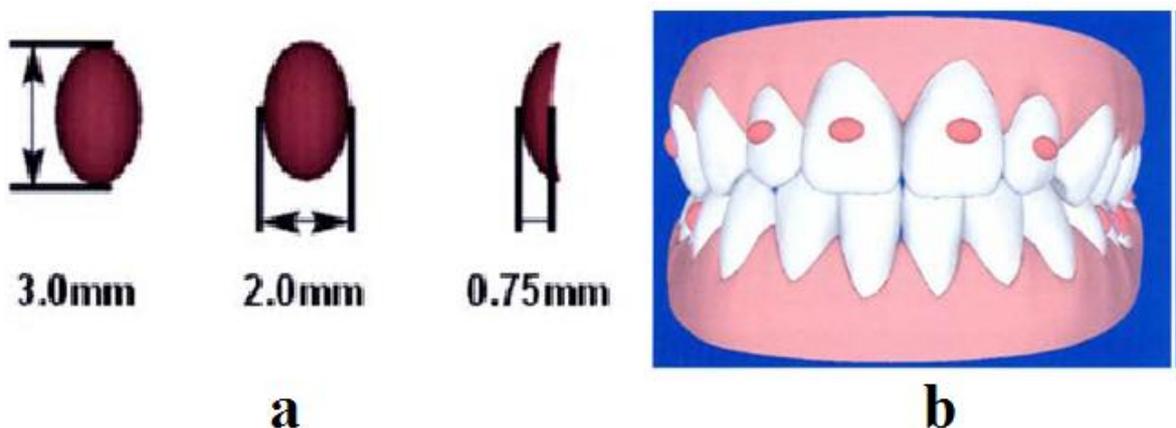


Figure 15: Les attaches ovales.

I. LES ALIGNEURS ORTHODONTIQUES ET LE CONCEPT INVISALIGN

Les attaches rectangulaires : plus récentes, on distingue :

- Les attaches rectangulaires verticales : indiquées pour :
 - La rotation : selon Richard BOUCHEZ, ces attaches sont indispensables sur les canines et les prémolaires pour assurer la bonne dérogation de la dent pendant la période de traitement.
 - L'extraction : au niveau des dents adjacentes au site d'extraction, par exemple on utilisera deux attaches verticales lors de l'extraction de l'incisive : une sur chaque dent adjacente.
 - Le contrôle d'axe : ce type est utilisé aussi bien pour le contrôle des axes des dents antérieures que pour le redressement des axes des dents postérieures.

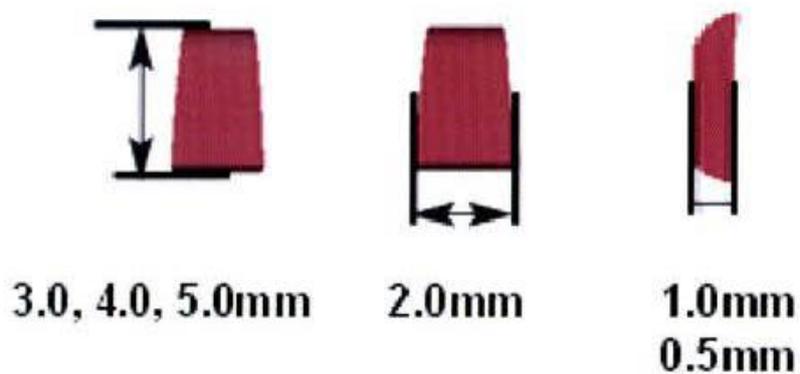


Figure 16: Attaches rectangulaires.



Figure 17: Utilisation des attaches rectangulaires pour la fermeture d'espace dans le cas d'une parodontite sévère.

I. LES ALIGNEURS ORTHODONTIQUES ET LE CONCEPT INVISALIGN

- Les attaches rectangulaires horizontales : indiquées pour :
 - L'ingression et l'égression :
 - Placées sur les prémolaires supérieures et inférieures afin de réaliser l'ingression des incisives, ces attaches vont assurer la rétention efficace de l'aligneur tout en évitant sa désinsertion.
 - Sur les incisives pour atteindre leur égression, sinon l'aligneur risque de glisser sur la surface lisse et créer un espace entre l'aligneur et la dent au niveau du bord libre.
 - Sur les dents de part et d'autre de celle qui nécessite une ingression/égression.
 - La rétention de l'aligneur : avec des patients présentant un deepbite ou dans le cas de dents reconstituées laissant peu de surface au collage.

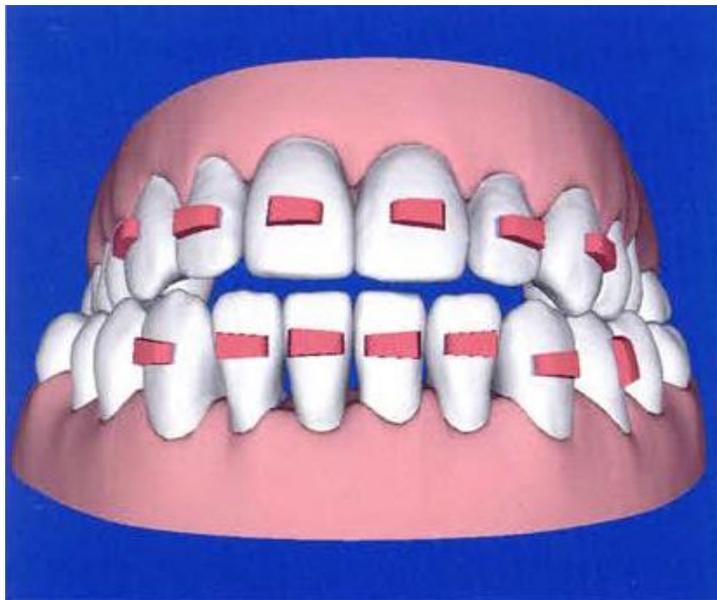


Figure 18: Attaches rectangulaires horizontales.

- Les attaches rectangulaires biseautées : indiquées pour assurer la rétention de l'aligneur et servant d'ancrage dans le cas d'une ingression où le recouvrement est très important, ces attaches éviteront les interférences occlusales entre les deux arcades.

Remarque : Les attachements conventionnels sont réalisés en bouche avec un composite d'obturation fluide et photopolymérisable disposé dans un aligneur spécifique dit « TEMPLATE » servant de guide pour la mise en forme et le positionnement.

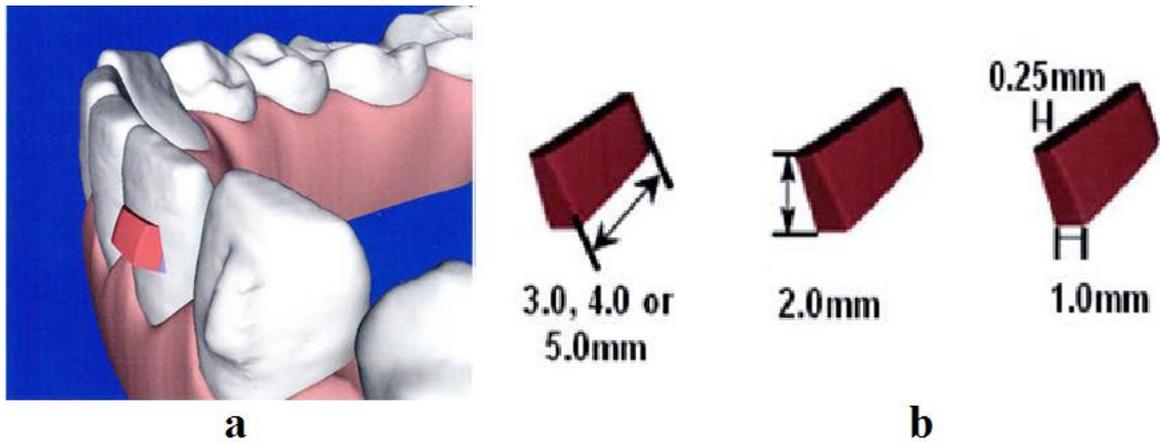


Figure 19: Attaches rectangulaires biseautées.

Tableau 2: Attaches par défaut d'Invisalign.

<u>Type de mouvement</u>		<u>type d'attaches par défaut</u>	
		<u>Placés automatiquement</u>	<u>sur requête du médecin</u>
Rotation (canines et prémolaires)		Attache verticale rectangulaire de longueur variable et d'épaisseur 1 mm	
Egressions		Attache ovale/ellipsoïde horizontale : épaisseur 1mm	
Redressement d'axe radiculaire			Attache verticale rectangulaire de longueur variable et d'épaisseur 1mm
Extraction	Incisive	Attache verticale rectangulaire sur les deux dents adjacentes au site d'extraction	
	Prémolaire	Attache verticale rectangulaire sur : canine, prémolaire restante et première molaire	

I. LES ALIGNEURS ORTHODONTIQUES ET LE CONCEPT INVISALIGN

Ingression	Ancrage	Attache horizontale biseautée sur les premières prémolaires	
	Ancrage si la prémolaire est aussi en rotation	Attache verticale rectangulaire de longueur variable et d'épaisseur 1 mm sur chaque prémolaire	
Rétention, ancrage, distalisation, torque, autres			Aucune attache ne sera placée sans demande particulière du médecin

1.4. INDICATIONS ET CONTRE INDICATIONS DU SYSTEME INVISALIGN®

Grâce aux recherches approfondies et le développement permanent du procédé d'Invisalign, les possibilités thérapeutiques s'élargissent constamment par l'arrivée de nouvelles générations de gouttières dont l'évolution a fait l'objet de progrès incessants, entretemps nous en sommes déjà à la septième génération de produit appliquée cliniquement. Ainsi, selon Align Technology, la quasi-totalité des cas très complexes sont désormais traitables avec succès par la méthode Invisalign®.

L'étude de l'efficacité de ces traitements, effectuée par JOFFE, a permis de classer les indications, les contre-indications ainsi que les limites de ce système¹⁸.

1.4.1. Les indications :

Sont multiples selon JOFFE :

- **Encombrement dentaire léger à modéré (1à6mm)** ce type de traitement peut être réalisé avec une expansion légère transversale et /ou sagittale, une réduction amélaire interproximale ou l'extraction d'une incisive mandibulaire

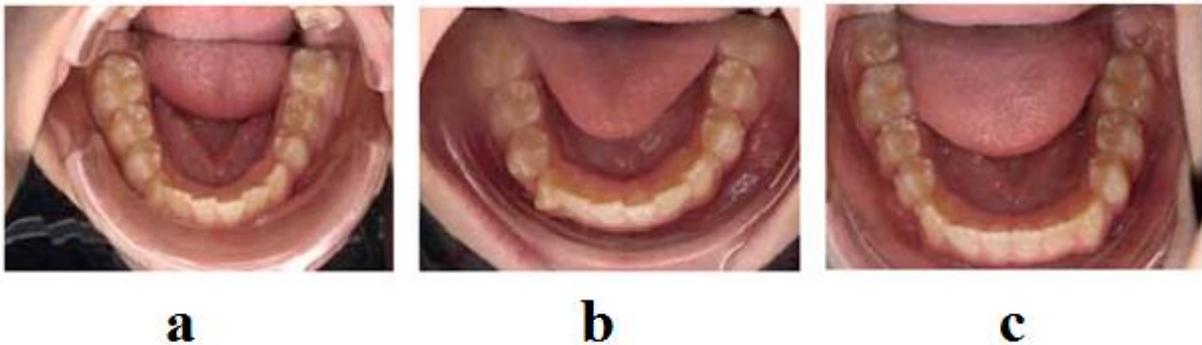


Figure 20: a, b et c : Un traitement de chevauchement dentaire.

- **Diastèmes dentaires léger à modéré (1à6mm)**



Figure 21: a et b : Un traitement de diastème dentaire.

- **malpositions dentaires** : versions $\leq 45^\circ$, rotation ≤ 20



Figure 22: a et b : Un traitement de version canine.

- **Corrections de décalages verticaux minimes non squelettiques** : égression, ingression, infracclusion, supraclusion



Figure 23: a et b : Un traitement de supraclusion

- **Corrections de décalages sagittaux minimes non squelettiques** avec les mouvements dentaires de distalisation /mésialisation : classes: classes I, II et III d'Angle ;
- **Corrections de décalages transversaux minimes non squelettiques** : endo /exposition +/- inversé d'articulé ;
- **la récurrence** après les traitements orthodontiques ;
- patients porteurs de **nombreuses prothèses fixes** sur lesquelles le collage de brackets est compliqué et peu pérenne ;
- patients atteints de **bruxisme** puisque les aligneurs réduisent les inconforts myofaciaux liés aux serrements et grincements des dents ;
- patients présentant un **risque carieux élevé**, ou des défauts amélaire contre-indiquant le collage de brackets ;
- préparation préprothétique ou **pré-implantaire** ;
- mouvements secondaires à des **parodontopathies** traitées

1.4.2. les contre indications

Il existe certaines contre indications à l'utilisation de la technologie Invisalign chez certains patients parmi lesquelles on cite celles :

1. Dues au patient :

- L'âge : patient trop jeune pour comprendre et coopérer. Il existe cependant une version Invisalign Teen pour les enfants/adolescents
- Les problèmes médicaux : état de santé défavorable : patients handicapés sévères physiques ou mentaux ou présentant des démences...
- Le profil psychologique : patient dépressif ou non coopérant
- Hygiène insuffisante, maladie carieuse ou parodontale actives.

2. Dues à l'anatomie/morphologie dentaire :

- Les dents courtes : l'aligneur ne sera pas assez rétentif sur les dents et ne permettra pas les déplacements dentaires souhaités (surface limitée). Les taquets ne peuvent pas toujours compenser ;
- Particularité anatomique des dents rondes ou riziformes (moins de contacts dent/aligneur : perte d'informations transmises) ;
- Patients ayant des antécédents, des risques de résorptions radiculaires ou des racines courtes.
- Les dents nécessitant des soins.

3. Dues à l'occlusion dentaire et aux mouvements dentaires à réaliser :

- les malpositions dentaires trop importantes ; ingressions, égressions ; Supraclusion et infracclusion $\geq 5\text{mm}$;
- les rotations et les versions sévères ;
- les cas d'extraction et les édentements de grande étendue et la mésialisation des molaires.

Chapitre II :

DIAGNOSTIC ET

PLAN DE

TRAITEMENT

2.1. LE DIAGNOSTIC

Lors de la première consultation du patient, il est essentiel de réaliser un diagnostic orthodontique précis afin de déterminer le patient « à risque ». Par conséquent, il est nécessaire d'effectuer :

- une anamnèse complète.
- des examens intra et extra-buccaux
- un examen fonctionnel
- des modèles d'études
- des examens radiographiques
- un examen de la maturation osseuse, de la position sur la courbe de croissance
- une analyse de la morphologie crânienne

2.1.1. Anamnèse

Certains troubles dysfonctionnels ont une origine génétique ou environnementale, Il est nécessaire alors de rechercher :

- le motif de consultation
- l'âge
- le profil psychologique (motivation, patient dépressif...)
- les antécédents de maladies ou celles présentes
- les antécédents de traitements médicamenteux ainsi que ceux en cours
- les antécédents de traumatismes
- les habitudes de vie (comportementales)
- les antécédents de suivi dentaires

2.1.2. Examen extra-oral

Les photographies extra-orales de face avec et sans sourire, de profil et de $\frac{3}{4}$ sont indispensables pour l'analyse esthétique et fonctionnelle, la physionomie du patient et sa posture. Elles servent à documenter le cas à un instant donné et ont une valeur médico-légale.

L'examen de face sert à évaluer :

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

- Le type facial (la forme) : Dolichofacial /Mésofacial/Brachyfacial
- Les proportions du visage (égalité des étages)
- Les relations labiales verticales
- La symétrie du visage et le parallélisme des lignes biophryaque/bipupillaire/bicommissurale
- Le décalage du milieu inter-incisif maxillaire par rapport à la ligne sagittale médiane
- La contraction des muscles de la houppe du menton, le sillon naso-génien et le sillon labio-mentonnier

L'examen de profil sert à évaluer :

- La convexité
- La forme du nez
- L'angle naso-labial
- La position des lèvres (profil labial au repos/en fonction)
- Le sillon labio-mentonnier
- L'analyse du volume du menton
- La distance cervico-mentonnière

Un examen des téguments du patient permet d'apprécier la symétrie et les différents équilibres du visage.

La position et la projection des lèvres au repos/avec sourire, des joues et des tissus mous adjacents sont analysées.

On évalue également : la ligne du sourire, la position des incisives centrales maxillaires par rapport à la lèvre supérieure (stomion), le milieu inter-incisif, la position des collets dentaires (sourire gingival), les corridors buccaux.

2.1.3. Examen intraoral

Les photographies intrabuccales de face, sagittales droites et gauches, et les vues occlusales maxillaire et mandibulaire servent à mettre en relation les dents, la gencive, la muqueuse buccale, les freins et la langue. Elles permettent de déterminer la position, la forme des dents et des arcades dentaires, et des tissus environnants.

A. Examen Parodontal

L'évaluation de la santé parodontale et de l'hygiène dentaire (la présence d'une inflammation gingivale, plaque bactérienne, de dépôts, mobilités dentaires).

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

L'examen parodontal s'intéresse également à l'épaisseur parodontale, la hauteur de gencive attachée, aux freins labiaux et au frein lingual.

Tout traitement orthodontique ne peut être instauré dans un environnement de pathologie parodontale (un parodonte diminué peut être pris en charge, mais surtout pas un parodonte inflammatoire), d'où l'intérêt de poser un diagnostic parodontal afin de déterminer la faisabilité du traitement, ou la nécessité de le reporter après soins parodontaux.

B. Examen Dentaire

Etablir la formule dentaire, le stade de denture et la forme des dents (dysharmonie dento-dentaire) à partir d'un examen de la denture.

Déterminer le CAO, et réaliser au préalable des soins (conservateurs, endodontiques, prothétiques) si nécessaire pour débiter le traitement orthodontique.

C. Rapports intra-arcades

Les photographies occlusales du maxillaire et de la mandibule servent à définir :

- la forme d'arcade
- la profondeur de la voûte palatine au maxillaire
- les dystopies et les rotations
- les diastèmes
- l'encombrement dentaire
- la symétrie transversale et sagittale par rapport au raphé médian au maxillaire ou à l'insertion du frein lingual à la mandibule

D. Rapports inter-arcades

Les photographies sagittales droite et gauche du maxillaire et de la mandibule en occlusion (Intercuspidie maximale), et de face servent à examiner :

- le sens transversal : concordance ou déviation des milieux inter-incisifs, dents en bout à bout ou en articulé croisé, endo/exo-alvéolie, endo/exo-gnathie
- le sens vertical : recouvrement incisif (béance/supraclusion)
- le sens sagittal : classe d'Angle molaire, classe canine, surplomb incisif

2.1.4. Examen des fonctions

Un examen des fonctions (déglutition, respiration, phonation, mastication) doit être bien réalisé afin d'établir un diagnostic dynamique et occluso-fonctionnel.

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

La respiration chez l'adulte doit être naso nasale (physiologique) et les raisons de dysfonctions ventilatoires explorées.

Des troubles de l'élocution et de la déglutition seront également recherchés.

La langue joue un rôle très important dans ces fonctions et sa rééducation pourra être nécessaire.

Les autres tissus mous seront également analysés (musculature, tonus labial, végétations, amygdales).

Evaluer la relation centrée et l'intercuspidie maximale (inspection, palpation des muscles et de l'articulation temporo-mandibulaire, l'évaluation de sa mobilité, le chemin d'ouverture et de fermeture) afin de recenser une éventuelle dysfonction de l'articulation temporo-mandibulaire ou de troubles occlusaux.

Noter une asymétrie faciale (signe de déviation mandibulaire ou de désordre occlusal)

La recherche des tics et des parafonctions (onychophagie, succion du pouce...)

2.1.5. Modèles d'études

Les modèles d'études permettent d'étudier le cas en dehors de l'environnement buccal du patient.

Ils permettent de mesurer la courbe de Spee, et l'encombrement.

Ils peuvent être réalisés en plâtre ou en résine ou bien être dématérialisés en version informatique.

2.1.6. Examens radiographiques

Les examens radiographiques demandés sont :

Une radiographie panoramique de première intention pour avoir une vue d'ensemble de la denture ainsi que la morphologie des racines dentaires (risque de résorption), les dents incluses ou les agénésies.

Une téléradiographie de profil afin de réaliser l'une des nombreuses analyses céphalométriques existantes (Tweed, Ricketts, Steiner, Delaire...) pour définir la position spatiale des maxillaires et des dents (plans ou lignes de référence) et poser le diagnostic.

Des clichés rétro-alvéolaires (évaluer le risque carieux, visualiser des dents incluses, retenues, agénésie, transpositions, résorptions radiculaires...), une téléradiographie de face, un cone beam, un scanner (structures dentaires, osseuses et condyle), une IRM (pour les tissus mous), ou une tomographie (articulation temporo-mandibulaire) peuvent être demandés.

- **Synthèse diagnostique.**

À partir de tous ces examens cliniques et complémentaires, l'orthodontiste est amené à établir un diagnostic esthétique, fonctionnel, dento-parodontal, alvéolaire et squelettique dans les 3 sens de l'espace (transversal, vertical et sagittal), ainsi que des objectifs de traitement.¹⁴

2.2. LA MISE EN ŒUVRE DU PLAN DE TRAITEMENT

Après avoir proposé au patient les différents moyens thérapeutiques envisageables, et si le cas de celui-ci s'inscrit dans les indications du traitement Invisalign®, le praticien doit établir un devis et recueillir le consentement éclairé du patient. Ce dernier doit avoir achevé l'éruption de ses secondes molaires¹⁹.

Le praticien doit assurer la prise en charge de toute pathologie d'ordre parodontal ou endodontique, ainsi que tous les soins conservateurs avant de commencer le traitement.

2.2.1. Le choix du type de traitement

De nos jours, il existe 5 types de traitement par aligneurs Invisalign²⁰ :

A. Invisalign Go

Il s'agit d'un système destiné aux omnipraticiens, lancé par la société Align Technology en 2017. Il est indiqué pour :

- Des chevauchement ou béances ≤ 7 mm ;
- Des expansions de 4mm par arcade ;
- Des suroccusions ≤ 5 mm ;
- Un décalage de 1mm de la ligne médiane.

Le système fournit jusqu'à 20 aligneurs, et est doté d'un logiciel de traitement qui simplifie le choix des cas, facilitant ainsi aux omnipraticiens d'identifier les patients aptes à traiter. Une évaluation de la difficulté du cas sera envoyée au praticien après avoir chargé les radiographies intra orales du patient sur le IDS (Invisalign Doctor Site). Suite à cela, si le cas du patient est jugé favorable à recevoir le traitement, le praticien est amené à envoyer une charte de prescription accompagnée des empreintes du patient afin d'établir son plan de traitement personnalisé.

Invisalign Go® présente plusieurs avantages grâce à un processus facilitant le téléchargement de photos, l'évaluation de cas et suivi des progrès ainsi que la possibilité de fournir encore deux jeux d'aligneurs supplémentaires durant 24 mois à compter de la date d'expédition du premier jeu d'aligneurs.

La société a dernièrement lancé une application gratuite pour les smartphones et les tablettes afin de rendre la soumission des cas Invisalign Go encore plus aisée.

B. Invisalign I7

Il s'agit d'un traitement esthétique très ciblé et économique, limité à sept jeux d'aligneurs ; ce type de traitement (3/3) est réservé pour des cas de chevauchement mineur, ou de récurrence débutante suite à des traitements orthodontiques antérieurs.

C. Invisalign Lite

C'est un système utilisé pour les cas d'orthodontie modérément complexes, il est adapté aux adultes souffrant de légères malpositions comme :

- Légers diastèmes dentaires.
- Légers cas d'encombrement dentaire.
- Légères rotations.
- Un besoin de correction d'une orthodontie réalisée à l'adolescence et à l'issue de laquelle les dents ont bougé avec le temps.

Le traitement est limité à 14 jeux d'aligneurs maximum, ce qui réduit considérablement son coût et sa durée (environ 6-7 mois).

D. Invisalign Teen

Invisalign Teen® est un système de traitement ; comme son nom l'indique ; conçu pour les adolescents ; Ce traitement fonctionne sur le même principe que la version classique Full®, mais se distingue grâce à des fonctionnalités supplémentaires à partir de 2015 :²¹

- Indicateurs de port (Compliance indicators), ajoutés sur les côtés des gouttières. , leur couleur varie en fonction de la durée d'exposition à la salive, évaluant ainsi le temps de port de l'appareil ;
- possibilité d'anticiper et de modifier les gouttières lors de l'éruption des dents définitives (canines, prémolaires et secondes molaires) grâce à des languettes ou des compensateurs d'éruption ;
- Possibilités de remplacement d'aligneurs (6 aligneurs supplémentaires) en cas de perte ou de casse.



Figure 24: Un aligneur Invisalign Teen.

La limite d'âge du début d'un traitement par aligneurs chez l'enfant ne cesse d'être diminuée mais semble être imposée par l'apparition des 1ères dents définitives : les incisives et les premières molaires permanentes.²²

E. Invisalign Full

Il s'agit du traitement classique complet des deux arcades dentaires (voir les types de traitement) ; proposé pour la plupart des cas et le plus renseigné dans la littérature. Cependant, il existe toujours des doutes à travers le monde concernant l'efficacité de ce type de

traitement, ses indications et ses limites. C'est ce que nous cherchons à vérifier à travers ce travail.

2.2.2. Les enregistrements cliniques

Une fois le plan de traitement est validé et accepté par le patient, le praticien réalise quelques enregistrements cliniques qu'il doit soumettre avec son plan de traitement¹⁵.

A. Les empreintes

La qualité de l'empreinte en polyvinylsiloxane (PVS) est d'un rôle remarquablement primordial dans l'ajustement entre la gouttière et les dents ; et donc de la précision des déplacements dentaires ; d'où l'importance de porter une grande attention lors de sa réalisation.

Afin de réaliser l'empreinte en PVS, il existe deux techniques :

- La Wash Technique ; où l'empreinte est prise en deux temps avec deux matériaux de viscosités éloignées, employés à la suite l'un de l'autre. On va tout d'abord employer le matériau de haute viscosité et réaliser une empreinte primaire. Dans un second temps, le matériau de faible viscosité est injecté à l'aide d'une seringue à élastomères sur les dents ainsi que dans l'empreinte primaire. L'empreinte peut alors être replacée dans la bouche du patient et maintenue sans pression jusqu'à sa prise pour obtenir l'empreinte finale.
- La technique du Double Mélange où la prise de l'empreinte se fait en un temps avec deux matériaux de viscosités rapprochées (haute viscosité+ moyenne viscosité, moyenne viscosité + faible viscosité) : le silicone de plus basse viscosité est appliqué partout en bouche à l'aide d'une seringue, et le silicone de plus haute viscosité sera chargé dans le porte empreinte puis inséré en bouche.

Invisalign® recommande d'utiliser la Wash Technique, et un silicone d'occlusion pour le mordus occlusal. Cependant, à l'exception de quelques petits détails pouvant être rectifiés par informatique, la société Align Technology refuse toutes les empreintes présentant un manque et/ou un tirage et/ou un bullage, il convient ; par conséquent ; de respecter certains critères de réussite des empreintes. Il s'agit de :

- a) l'obturation des espaces interdentaires et le dessous des intermédiaires de ponts à la cire sans excès.
- b) L'utilisation de portes-empreinte adaptés : Invisalign® fournit ses propres portes-empreinte en plastique bleu thermoformable, dans quatre tailles différentes : Small, medium, Large et Extra Large.

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

- c) Respect du temps de prise du PVS ; 6 minutes.
- d) Eviter le tirage distal au niveau des dernières molaires en recouvrant parfaitement leurs faces distales par le matériau de haute viscosité.
- e) Utilisation du conditionnement Invisalign®-UPS® pour protéger les empreintes avant de les envoyer aux USA par le transporteur UPS.

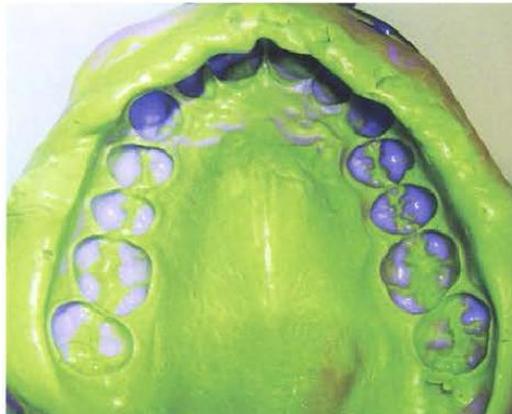


Figure 25: Une empreinte ne présentant pas de défaut.

Source : Bouchez R. Les traitements orthodontiques Invisalign®. Paris : quintessence international ; 2009

A. Les photographies

En orthodontie, une bonne qualité des clichés intraoraux et extra-oraux est indispensable, c'est pour cela qu'il est conseillé d'utiliser un appareil photo numérique. Le praticien peut les envoyer sous forme de photos individuelles et/ou sous forme de composite photo.

Les clichés nécessaires sont :

- Visage de profil (droit)
- Visage de face
- Visage de face avec sourire
- Vue occlusale maxillaire
- Vue occlusale mandibulaire
- Occlusion droite
- Occlusion de face
- Occlusion gauche

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

Tableau 3: Un composite photo.

Visage de profil (droit)	Visage de face	Visage de face avec sourire
Vue occlusale maxillaire	Nom du patient et date	Vue occlusale mandibulaire
Occlusion droite	Occlusion de face	Occlusion gauche

NB : Afin d'effectuer une bonne présentation des photos, il est conseillé de limiter celles-ci uniquement aux dents, de les recadrer, de placer les photos du visage en plan de Francfort et plan d'occlusion horizontal.

B. Les radiographies

Le bilan radiographique à communiquer sur le VIP comprend

- Une téléradiographie de profil.
- Un panoramique dentaire.
- Un bilan rétroalvéolaire long cône(un Status Radio)

Invisalign® recommande des radiographies numériques ; à cause de la facilité de leur envoi et de leurs retouches. Cependant, des documents radiographiques, des clichés numérisés fournis par le radiologue sur CD ou des photos numériques des radiographies sur un négatoscope allumé (sans flash) sont aussi acceptés.

Simplification des enregistrements cliniques :

Depuis quelques années, l'enregistrement clinique de toutes ces données est devenu plus simple, grâce à l'acquisition d'outils informatiques de plus en plus sophistiqués. Ces derniers permettent le gain de temps, la réduction du nombre d'enregistrements cliniques et radiographiques donc une réduction du risque d'erreurs, et par conséquent l'amélioration de la qualité et de la précision des mouvements dentaires générés par les aligneurs (voir l'évolution de la technique).¹⁵

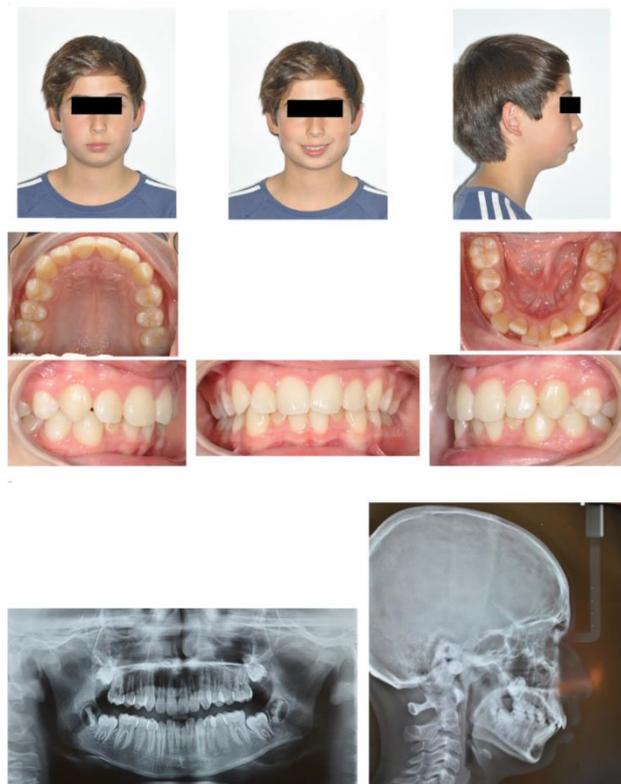


Figure 26: Un exemple de composite photo et d'un bilan radiologique.

Source: **Eugene Chan, M.Ali Darendeliler**. The Invisalign's appliance today: A thinking person's orthodontic appliance

2.2.3. La transmission des enregistrements cliniques et soumission du plan de traitement.

Les empreintes en PVS doivent être protégées (conditionnement Invisalign®-UPS) et envoyées par un transporteur UPS et/ou par Internet à Santa-Clara, Californie ou à Mexico où elles seront numérisées en vue de créer le modèle virtuel. Cependant, les empreintes optiques (sous forme de fichier .stl), les photographies et les radiographies sont envoyées via une plateforme en ligne appelée Virtual Invisalign Practitioner® (VIP).

La charte de prescription thérapeutique

Une fois le type de traitement est choisi et validé par le patient et le praticien, une charte de prescription thérapeutique doit être remplie en ligne sur le Virtual Invisalign Practitioner® (VIP) en cochant des cases ou en ajoutant des commentaires.

Cette charte sert de source d'informations auxquelles auront accès les techniciens Invisalign® en vue de la réalisation du ClinCheck®, elle précise :

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

1. **les arcades traitées** : soit le maxillaire seul, ou la mandibule seule, ou les deux arcades.
2. **Les dents à déplacer** :

Le praticien doit cocher les cases correspondantes aux dents à ne pas déplacer ; il s'agit de toute prothèse (implantoportée, piliers de bridge), les dents absentes (extraite ou intermédiaire de bridge) et les dents à risque (dent rhizalisée, dent de lait et les dents mobiles présentant une alvéolyse importante).

Pour les traitements limités de canine à canine, les dents postérieures sont pré cochées.

3. **Le placement des attaches (taquets)**

Il faut cocher toutes les dents sur lesquelles il est impossible de coller les attaches en composite. Il s'agit de celles présentant des reconstitutions (amalgames vestibulaires, onlays, couronnes), des dents délabrées, absentes, mobiles ou sensibles ; ainsi que les dents en malposition.

4. **le maintien ou le déplacement de la ligne des milieux inter-incisifs**

En se basant sur la photo du sourire de face ou au moment de prise de l'empreinte, le praticien détermine le rapport des deux milieux incisifs et leurs rapports avec la ligne médiane du visage, et indique sur la charte la direction et la quantité de correction souhaitée. Si cette dernière dépasse les 2mm, des réductions amélaire, des distalisation ou des extractions peuvent s'avérer nécessaires.

5. **Le maintien ou la correction du surplomb**

Le surplomb clinique du patient peut être maintenu s'il est en occlusion de Classe I ou si le patient et/ou le praticien choisit de ne pas le modifier, et il peut être corrigé avec RIP ou distalisation (Classe II ou proalvéolie incisive), ou sans RIP (diastèmes incisifs).

6. **Le maintien ou la correction du recouvrement**

Le recouvrement clinique du patient peut être maintenu en cas d'occlusion satisfaisante ou si le patient et/ou le praticien choisit de ne pas le modifier, et il peut être corrigé avec des attaches d'égression ou d'ingression (voir partie des attaches). Il faut veiller, cependant, à respecter des limites cliniques du traitement.

Il existe une troisième option d'instructions spéciales, celle-ci est envisageable par exemple en cas de traitement chirurgical d'une classe II division₂. (Voir la partie d'instructions spéciales)

7. **le maintien ou la correction des rapports antéropostérieurs.**

Ce champs dépend de plusieurs paramètres, dont le diagnostic étiologique posé (classe II : promaxillie ou rétromandibulie, classe III : hypo/rétromaxillie ou promandibulie...etc.), le niveau du décalage (squelettique ou alvéolaire), l'objectif du traitement et les moyens choisis pour y arriver (RIP, extraction, distalisation, intervention chirurgicale ou combinaison entre

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

ces moyens). C'est à cette étape que le praticien intègre des TIM élastiques de Classe II ou de Classe III dans les moyens à prévoir.

8. Le maintien ou la correction d'un articulé inversé postérieur.

9. La résolution des diastèmes et des encombrements.

Le traitement d'un encombrement dentaire diffère selon le type de traitement choisi, car à cette étape, si le traitement est complet, le praticien choisit entre l'expansion d'arcade (maxillaire ou mandibulaire), la vestibuloversion, le Stripping ou programmer des extractions. Par contre, si le traitement envisagé est de canine à canine (3/3), le praticien a le choix seulement entre la vestibuloversion et le Stripping.

La fermeture des espaces maxillaires ou mandibulaires est soit complète, soit partielle (raison thérapeutique ; pose d'implant ou pour une raison due à la dysharmonie dento-dentaire).

Citation de Richard Bouchez : « Il s'agit pour le praticien d'adapter ces moyens à ses objectifs en fonction de sa propre philosophie thérapeutique et de la biomécanique des aligneurs. »

10. La gestion des dysharmonies dento-dentaires

Dans le cas de DDD, si tous les diastèmes maxillaires ne peuvent pas être fermés, le praticien doit choisir où laisser un espace. Ce dernier peut être :

- En distal de l'incisive latérale (garder la canine en occlusion de Classe I).
- En distal de la canine (valeur esthétique et favorise une meilleure contention).
- Egaux autour de l'incisive latérale.
- RIP sur l'arcade opposée pour fermer tous les espaces.
- Autre : si le choix diffère de ceux proposés ci-dessus et donc précisé dans les instructions spéciales.

11. Les surcorrections

D'éventuelles surcorrections peuvent être nécessaires pour anticiper les difficultés de correction de certaines malpositions comme les rotations, ou les distalisations en vue d'aboutir à une classe I.

Cependant, Bouchez conseille de privilégier des finitions avec une nouvelle empreinte lors des derniers aligneurs plutôt que des surcorrections hypothétiques.

12. Les préférences de traitement

A travers le VIP, le praticien peut communiquer directement au technicien d'Align Technology ses préférences thérapeutiques concernant l'expansion, la supraclusion, le surplomb, l'égression, la distalisation postérieure, le Stripping, et la ligne des milieux incisifs.

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

13. ClinCheck® objectifs

Le praticien doit présenter, dans cette étape, l'inclusion de certains mouvements dits « extrêmes », non réalisables avec le système Invisalign®, mais par des traitements auxiliaires (Quad Helix, Multiattaches, Élastiques... etc.) afin d'obtenir le ClinCheck® idéal.

14. Instructions spéciales

C'est l'étape qui permet au praticien de mieux communiquer les objectifs de son traitement au technicien Invisalign®.

A la fin de rédaction de la charte de prescription thérapeutique, le praticien ajoute les photos et les radiographies et valide en ligne via le VIP sa prescription. Celle-ci sera traitée par les techniciens Invisalign® pour réaliser le ClinCheck®.

The image displays two versions of the Invisalign prescription and diagnostic form: Form A (left) and Form B (right). Both forms are titled 'FORMULAIRE DE PRESCRIPTION & DIAGNOSTIC' and include a 'TRAITEMENT' section. Form A is for 'TRAITEMENT 3-3' and Form B is for 'TRAITEMENT COMPLET'. The forms contain various checkboxes and input fields for patient information, treatment goals, and specific instructions for the technician. A watermark 'Exemple d'utilisation du Formulaire de Prescription en ligne sur le Cabinet Virtuel' is overlaid on the forms.

Figure 27: Un exemple de formulaire de prescription et diagnostic pour le traitement complet ou 3/3 d'Invisalign

2.2.4. Le traitement des empreintes et la réalisation du modèle virtuel

Les empreintes envoyées par le praticien sont analysées par tomographie informatique CT « Computed Tomography » ; d'où le passage des portes-empreintes métalliques aux portes-empreintes plastiques. Cette analyse aboutit à une représentation numérique extrêmement précise en 3D comprenant la denture et les espaces inter proximaux.

Une fois scannée, l'image en 3D est soumise à des techniciens qui transforment les données brutes en un plan de fabrication sur mesure des gouttières avec le logiciel Treat®. Ce processus implique une analyse en trois phases : le découpage, la création du set up final et l'élaboration de la séquence.

Le découpage consiste à isoler les données relatives à chaque dent afin de l'envisager comme une entité géométrique distincte. Chaque couronne est colorée afin de distinguer l'anatomie dentaire du tissu gingival. Un logiciel spécial aligne les arcades puis l'occlusion est ajustée manuellement à l'aide des photos du patient. A ce stade chaque dent en 3D représente l'état physique réel de la dent avant le traitement. Les dents peuvent alors être déplacées individuellement dans la courbe d'arcade.

Le technicien déplace chaque dent vers sa position alignée en créant ainsi un **set up final** de la denture du patient qui correspond précisément aux prescriptions du praticien. Enfin le technicien constitue le tissu gingival qui avait été enlevé au découpage.

L'élaboration de la séquence détermine la succession des étapes du traitement. C'est là que le technicien simule le déplacement des dents de leurs positions initiales à leurs positions finales recherchées selon le plan de traitement prescrit par le praticien. Chacune des étapes successives représente le mouvement progressif obtenu avec la gouttière correspondante. Le set up est soumis à des vérifications internes rigoureuses sous la supervision de l'équipe clinique d'Align, afin de s'assurer que le traitement virtuel donne exactement les résultats recherchés par le praticien.

2.2.5. La réception et validation du ClinCheck® par le praticien

La simulation est envoyée ensuite par voie électronique au praticien pour le contrôle de la qualité finale par ClinCheck®. Ce dernier est le logiciel propriétaire permettant au praticien de choisir la solution thérapeutique la plus adaptée à la situation clinique (exemple : avec ou sans extractions). Un examen attentif de celui-ci est essentiel pour obtenir le meilleur résultat final possible, et ce en respectant l'occlusion statique et dynamique du patient, l'os et le parodonte ainsi que l'objectif esthétique.

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

Pour Schupp et Haubrich, les caractéristiques suivantes devraient être présentes en fin de traitement ²³:

- Contacts totaux des prémolaires et des molaires ;
- Guidage antérieur ;
- Minimum de contacts canins et absence de contact incisif en intercuspidie maximale ;
- Surplomb incisif ouvert.

Si le mouvement des dents n'est pas correctement planifié dans le traitement ClinCheck®, des dommages sur l'os et le parodonte peuvent survenir. En effet, la quantité d'os interproximal est proportionnelle à la résistance à la résorption, il convient donc d'utiliser des forces faibles (<0.3 N/ cm²) ainsi que de planifier l'angulation radiculaire en se fiant aux radiographies du patient.

La validation du ClinCheck® :

Afin de valider le ClinCheck®, le praticien doit examiner les points suivants : ^{15, 19}

1. **Les positions finales des dents** dans les différentes vues (frontale, vestibulaire, linguale et occlusale).
2. **La gestion de l'espace disponible** par des réductions interproximales, une expansion d'arcade ou des extractions.

La réduction amélaire interproximale est souvent nécessaire et fait partie intégrante du traitement Invisalign®, seule ou couplée aux autres méthodes dans certains cas sévères. Cependant, il est impératif de respecter ses indications et ses contre-indications. Elle ne doit pas dépasser 1mm au niveau de chaque point de contact et sa prescription doit être compatible avec la position et l'anatomie des dents concernées afin d'éviter des préjudices fonctionnels (modification inadéquate de l'anatomie dentaire, défaut de point de contact) et esthétique. Tout cas nécessitant une réduction interproximale aura un formulaire RIP indiquant quand, où et comment le faire.

3. **la planification du traitement** ; le praticien peut choisir le nombre de gouttières, et le taux de déplacement dentaire prévu pour chacune d'entre elles, du début à la fin du traitement, ainsi que d'éventuelles surcorrections.
4. **les déplacements dentaires** : le praticien doit valider son choix final du type (ovales, rectangulaires ou biseautées), de l'emplacement et du moment de pose ou de retrait des attaches. Celles-ci sont représentées par des formes rouges sur le ClinCheck® et

chacune d'entre elles est utilisée en cas d'indication. (voir biomécanique appliquée à Invisalign).

5. **la gestion de l'ancrage** par l'utilisation des différents moyens à savoir :

- le contrôle de l'**espace d'extraction** : celui-ci pouvant être fermé, maintenu, ou augmenté (prothèse/implant) tout en intégrant une voire plusieurs dents artificielles remplaçant la/les dent(s) absente(s). Il s'agit du « Pontic Kit » ou « Espace Pontique » ; un espace inclus dans l'aligneur rempli de composite au cabinet.

L'utilisation de tractions élastiques intermaxillaires **TIM** ; qui servent à réduire un décalage maxillo-mandibulaire de classe II ou de classe III. Elles peuvent être accrochées soit en réalisant un trou dans l'aligneur, soit sur des encoches ou des boutons collés sur certaines dents. L'innovation Invisalign® G3 permet de programmer un découpage de précision pour accrocher les élastiques ou coller un bouton sur une surface dentaire (voir l'évolution technologique).

- La pose d'une **minivis** ou mini-implant dans le triangle rétromolaire ; en distal de 37/47 ou entre 36-37 et 46-47 permet également un contrôle d'ancrage.

- **la perte d'ancrage contrôlée** dans certains cas traités par des extractions, le praticien peut décider de fermer les espaces avec une perte contrôlée d'ancrage en laissant les dents postérieures se mésialer. Cette perte d'ancrage va être simulée lors du ClinCheck®, et « l'outil superposition » permettra au praticien de la quantifier visuellement. Cependant, il existe une difficulté dans le contrôle des axes radiculaires pour l'obtention d'une translation pure, sans effet de mésioversion.

A partir de l'année 2015, les ajustements 3D du modèle virtuel est rendu plus facile grâce à 4 nouveaux outils en plus des anciens outils de contrôle (grilles de mesures, zoom, outil de superposition...etc.). Il s'agit du ClinCheck Pro offrant les possibilités suivantes²¹:

- modification de la position des dents ; pour effectuer des ingressions/égressions, translation vestibulo-linguale/mésio-distale, des rotations, des angulations ou versions de la couronne et des torques radiculaires.
- Expansion ou contraction postérieure d'une ou des deux arcades
- Taquets et coupes de précision ; pour déplacer, ajuster ou pivoter les taquets conventionnels ainsi que de modifier la position mésiale ou distale des coupes de précision pour le placement d'un bouton.
- Réduction interproximale et gestion de l'espace disponible ; il est désormais au praticien de décider de la quantité de RIP à réaliser et à partir de quel aligneur le faire.

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

Enfin, toutes les modifications souhaitées par le praticien seront validées et envoyées au technicien Invisalign pour lancer la fabrication des gouttières. Cependant, en visualisant le traitement virtuel et en le modifiant si nécessaire le praticien conserve alors la maîtrise totale du plan de fabrication des gouttières.¹⁵

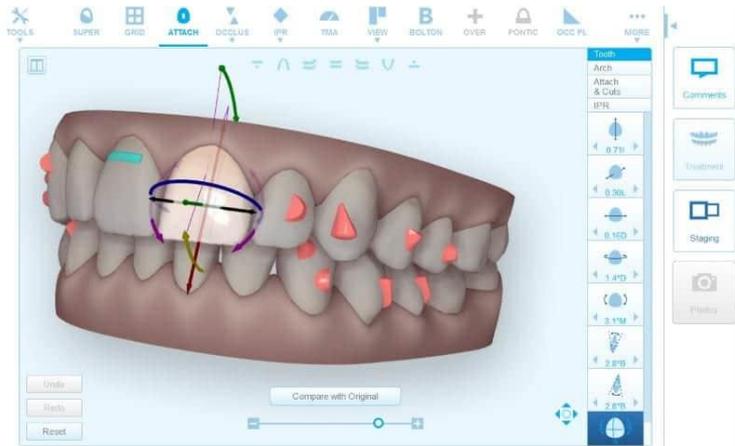


Figure 28: Une interface de travail sur le logiciel ClinCheck.

2.2.6. La fabrication des gouttières

Une fois le ClinCheck® est approuvé, le plan de traitement sera utilisé pour construire une série de modèles dentaires fabriqués à partir des informations numériques grâce à une technique de CAD/CAM appelée stéréolithographie (SLA). Cette dernière est usinée par Align Technology pour une production en masse des modèles en résine, chacun d'entre eux unique et correspond à une certaine étape du traitement Invisalign®.

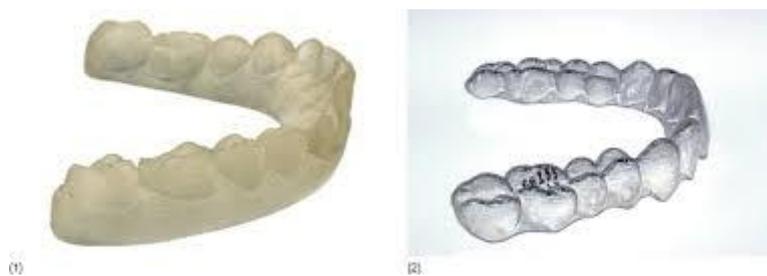


Figure 29: Un modèle stéréolithographique et sa gouttière correspondante.

La stéréolithographie ou SLA (StereoLithography Apparatus ou équipements de stéréolithographie) est la conversion des modèles virtuels en modèles physiques réels. Il s'agit d'une méthode de prototypage rapide développée dans les années 1980, et son principe est basé sur la photopolymérisation d'une résine liquide photosensible avec un faisceau laser pour former un objet réel couche par couche répliquant exactement son homologue virtuel.

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

Après leur fabrication par la SLA les modèles sont nettoyés et séchés puis sur chacun d'entre eux, une gouttière en polycarbonate médical sera réalisée grâce au procédé de thermoformage.²⁴

Le thermoformage est une technique qui consiste à transformer un matériau dit « thermoplastique » qui se déforme en le chauffant ; profitant de cette malléabilité pour le façonner avec un moule. Le matériau durcira en refroidissant et conservera cette forme.

En orthodontie, les matériaux thermoplastiques utilisés sont propres à l'utilisation médicale, grâce à leur excellente qualité de non toxicité (elles peuvent rester inertes et inchangées dans la salive, inodore, insipide et résistante aux détergents de nettoyage de tous les jours). Ils bénéficient également des caractéristiques de résistance très forte¹⁵. Ces matériaux se présentent sous forme de feuilles (moins de 100µm d'épaisseur) ; de films (plus de 100µm) ou de plaque (plus de 1mm).

Il faut savoir qu'il existe différentes méthodes pour thermoformer une pièce : soit par emboutissage, soit sous vide (par pression ou par aspiration d'air) soit en combinant les deux techniques précédentes. Néanmoins, Il existe deux types de machine à thermoformer²⁵ :

- La majorité fonctionne sur le principe de la **dépression d'air** en dessous du modèle à thermoformer, et assure grâce à cela l'aspiration du matériau thermoplastique par-dessus (Exemple : Essix Machine®, Tray Vac®, EconoVac®).
- D'autres génèrent de **l'air en pression** au-dessus du matériau thermoplastique de manière à le plaquer contre le modèle. Des granulés d'acier enrobent partiellement le modèle limitant le thermoformage aux zones non recouvertes (Exemple : Ministar®, Biostar® Erkoform® ou Accu Vac®).

Aujourd'hui, les aligneurs qui étaient à l'origine fabriqués à la thermoformeuse sous pression Biostar® « Biostar pressure molding machine » (GreatLakes Orthodontic Products, Tonawanda, NY), sont désormais placés dans un système de formation d'aligneurs automatisé. Ensuite sont marqués au laser ; à travers le plastique : les initiales du patient, le numéro du cas, le numéro de la gouttière et de l'arcade correspondante. Le découpage des aligneurs était au début manuel ; mais actuellement, l'ensemble des gouttières thermoformées est transféré par le robot vers une machine automatique "Automated Aligner cutter" qui découpera l'aligneur jusqu'à environ 0.5mm du bord gingival en moins de 30 secondes. Ensuite, les aligneurs sont polis, nettoyés dans une série de bains de nettoyage, désinfectés puis emballés et étiquetés pour être expédiés au cabinet du praticien.²⁶



Figure 30: (a) et (b) : Machines à thermoformer.

2.2.7. La réception et mise en place des gouttières

Une fois les aligneurs Invisalign® sont reçus, le praticien est amené à s'assurer de la coopération et de la motivation du patient afin de garantir le bon déroulement du traitement. En effet, il faut bien lui expliquer la nécessité de respecter la durée du traitement même si ses doléances esthétiques sont satisfaites, car l'interruption de port de ses gouttières risque bien de compromettre les objectifs esthétiques et fonctionnels fixés. Par conséquent, il faudra recommencer le protocole à partir de l'étape des empreintes pour fabriquer de nouvelles gouttières ce qui est lourd et coûteux.

2.2.7.1. La pose des attaches

La mise en forme et le positionnement des attaches en bouche sont guidés par le « Template® ». Ce dernier est un aligneur comprenant des déformations correspondantes à la forme des attaches (ovales, rectangulaires ou biseautées) dans lesquelles sera déposé le matériau ; un composite fluide photopolymérisable.

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

Avant mise en place du composite, le praticien doit choisir la bonne teinte et ce en fonction de la teinte de la dent, afin de rendre l'attache la plus invisible possible. Ensuite il remplit la déformation du Template® avec le composite et vérifie son remplissage. A travers l'aligneur-guide positionné en bouche et plaqué contre la dent, il photopolymérise le composite et vérifie enfin le collage parfait des attaches sur leurs dents correspondantes¹⁵.

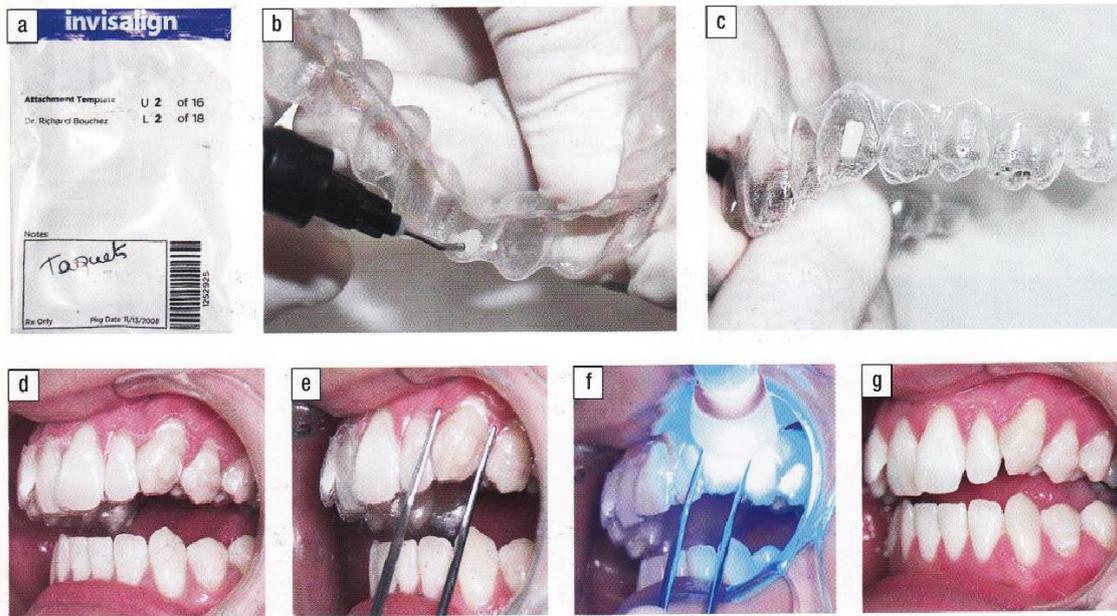


Figure 31: a, b, c, d, e, f et g : Protocole de mise en place des attaches avec le Template.

Source : **Bouchez R.** Les traitements orthodontiques Invisalign®. Paris : quintessence international ; 2009

2.2.7.2. La réduction inter proximale (RIP)

Les réductions amélaire interproximales (RIP) ; ou stripping ; sont une méthode de correction des encombrements dentaires dans les traitements orthodontiques chez l'adulte. Même s'il s'agit théoriquement d'une atteinte de l'émail superficiel, cette technique présente l'avantage majeur de conserver une ou plusieurs dents ; réduisant ainsi ; dans la technique d'Invisalign® ; la durée de traitement en évitant certaines étapes comme la distalisation de dents postérieures.¹⁵

Selon Invisalign :Les *indications* du stripping sont :

- une incisive vestibulo-versée
- un support parodontal insuffisant
- une dysharmonie dento-dentaire (D.D.D)
- la présence d'un « triangle noir » ou une embrasure gingivale déshabillée.

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

- la création d'un surplomb.

Comme pour le ClinCheck®, lorsque le praticien reçoit la **charte de stripping**, il doit en apprécier la faisabilité et refuser un stripping trop important ou situé sur une zone difficile d'accès. Cependant, une fois approuvée, chaque stripping est effectué en respect de l'anatomie (points de contact), mesuré par des jauges, soigneusement poli.

En 2016, l'étude de Hellak²⁷, démontre que des pertes osseuses verticales au maxillaire et à la mandibule ainsi que des pertes osseuses verticales et sagittales à la mandibule, ont été provoquées

Lapenaite en 2014 rappelle ; quant à lui ; les complications qui peuvent survenir lors des strippings ; notamment l'hypersensibilité, l'inflammation de la pulpe, la rétention de plaque et maladie parodontale ainsi que des atteintes des tissus durs²⁸.

Par conséquent, afin de réussir cette étape, il convient au praticien de maîtriser cette technique et de disposer du matériel adéquat. En effet, Invisalign recommande la méthode des

Strippings de Sheridan (Air Rotor Stripping) : pour une RIP comprise entre 0,1 et 0,3 mm on peut utiliser des Strips abrasifs ou des disques diamantés présentant une ou deux faces abrasives, de petit diamètre pour les dents mandibulaires et de diamètre supérieur pour les dents maxillaires. Cependant, pour une RIP comprise entre 0.3 et 0.6 mm on utilise des fraises turbine du kit Sheridan. Si l'accès est difficile des strippers « mini-scies » de WH montées sur contre-angle SYNEA WH permettent de suivre le contour des dents.^{29, 30}

Enfin, un contrôle de la quantité de stripping par des jauges de Sheridan est effectué, puis on réalise les finitions à l'aide de papier abrasif.³¹

Remarque : la réduction interproximale peut être réalisée **avant l'empreinte PVS**, ainsi cette empreinte dite de la RIP permettra à Invisalign® de simuler au préalable sur le ClinCheck® les déplacements dentaires en fonction de la RIP réalisée, et de fabriquer finalement le nombre nécessaire d'aligneurs à la fermeture des espaces taillés. Une gouttière de contention devra être portée par le patient entre le stripping et l'obtention de la première gouttière (environ 2 mois)

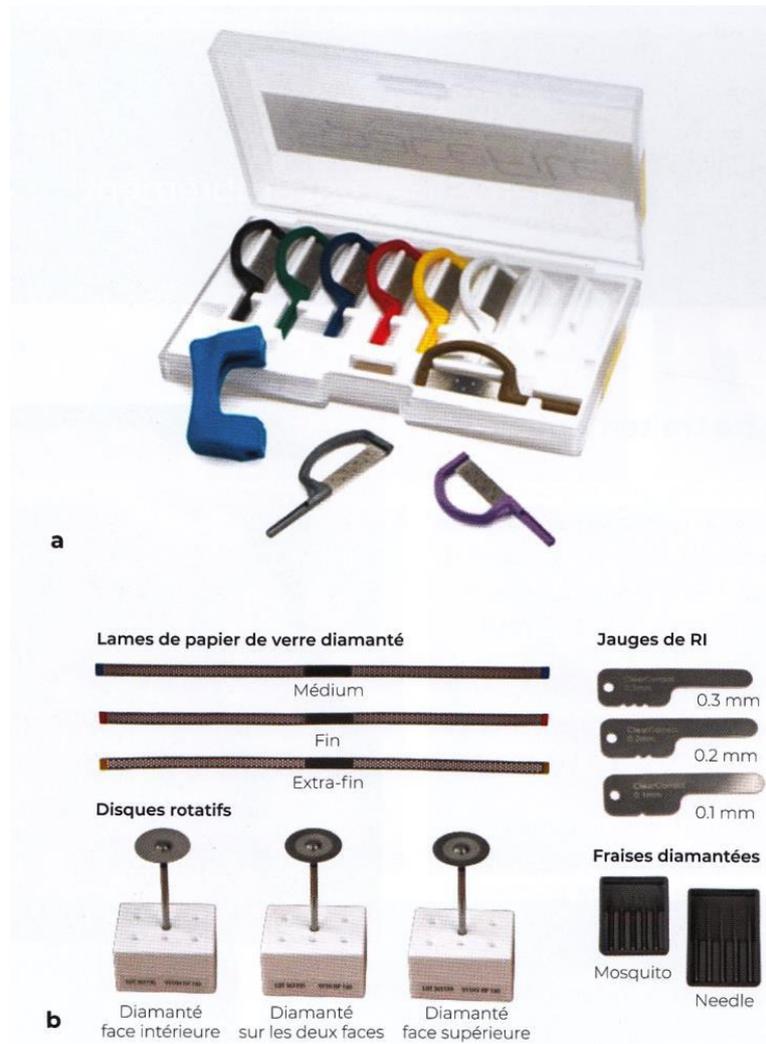


Figure 32: a et b : Kit de réduction interproximale.

Source : **CELLIER Pierre-Loup**. Les aligneurs orthodontiques : nouvel outil thérapeutique, utilisation au cabinet et perspectives [Thèse]. Paris: UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES; 2019.

2.2.7.3. La mise en place des gouttières et contrôle du traitement

Invisalign® exige le port de chaque série de gouttières pendant 300 heures, jour et nuit, soit une durée de deux semaines/gouttière à raison de 22 heures par jour. Le patient peut les enlever uniquement pour manger, boire et se brosser les dents. Des boîtes en plastique sont remises au patient pour qu'il y conserve ses aligneurs lorsqu'il ne les porte pas.

Le praticien revoit le patient 2 semaines après la livraison de son premier aligneur, il vérifie alors l'absence de douleur et la compliance du patient. Il essaye l'aligneur numéro2 et pourra ensuite lui remettre l'aligneur numéro3 pour qu'il le porte 15 jours plus tard.

Grâce aux travaux de Bollen³² entre 2003 et 2016, le rythme d'activation était fixé à un aligneur toutes les deux semaines, mais depuis qu'Invisalign a lancé son système G7, la société préconise un changement toutes les semaines (du moins pour les cas de malpositions légères).

Une analyse menée par Invisalign montre qu'il n'existe pas de différence significative en termes de prédictibilité et d'efficacité du mouvement dentaire entre un changement hebdomadaire et un changement toutes les deux semaines. Par conséquent, la durée de traitement peut désormais être diminuée jusqu'à 50%. Cependant il n'existe pas de recul sur ces données ni aucune preuve démontrée jusqu'à l'heure actuelle.

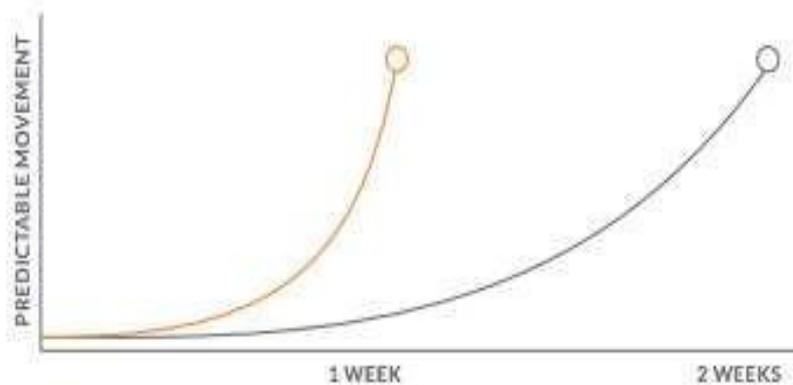


Figure 33: Graphique comparant la prédictibilité du mouvement en fonction du temps.

2.2.7.4. Finition et dépose des attaches

Des modifications du plan de traitement peuvent s'avérer nécessaires avant la fin du traitement dans certains cas.

a. La perte des aligneurs : selon le temps écoulé entre la perte et le moment où le patient reverra son praticien, et en fonction du temps durant lequel l'aligneur avait été porté, il existe deux possibilités :

- Si l'aligneur avait quasiment terminé ses mouvements programmés, le patient peut **passer à l'aligneur suivant** ; bien que son ajustement sera plus serré et il devra le porter plus longtemps ;
- Sinon, il faudra demander le remplacement de l'aligneur perdu à Align Technology, qui le fabriquera à partir des données du ClinCheck. Cependant, le patient portera l'aligneur précédent comme contention, d'où l'intérêt de prévenir les patients de garder tous leurs aligneurs utilisés.

b. Une différence importante entre la situation clinique et le ClinCheck : souvent la perte d'adaptation d'une gouttière en cours de traitement ou une quantité importante de stripping peuvent amener à la modification de la forme dentaire et donc de cette différence. Le praticien va procéder alors à des « mid-course correction » ; il s'agit d'une série de gouttières supplémentaires dites de

finition ou de « refinement ». cependant, une sorte de réévaluation du cas (impliquant une reprise d'empreintes et une soumission de nouveaux documents du ClinCheck à Align) devra être effectuée et donc la prolongation de la durée de traitement.

En fin de traitement, le praticien dépose les attaches en composite à l'aide d'une fraise en carbure de tungstène, en veillant à ne pas endommager l'émail sous-jacent.

En 2009, une étude comparative in vitro et in vivo ³³a prouvé qu'une technique combinée, utilisant des fraises en carbure de tungstène suivie d'une finition avec une « Stainbuster » ; une fraise en résine renforcée par des fibres de verre enrichies en Zircon, ou encore en silice sur contre-angle à faible vitesse sans spray ; est une procédure sûre et peu invasive pour éliminer les taches de surface et les restes du composite des surfaces dentaires.

2.2.7.5. Suivi et contention

Un suivi régulier, recommandé toutes les 6 à 8 semaines, est mis en place pour contrôler la stabilité des résultats du traitement.

Afin d'éviter les récurrences et de maintenir une stabilité de l'occlusion finale, la contention en fin de tout traitement orthodontique est une étape indispensable. Cependant, le protocole de contention après traitement avec les aligneurs Invisalign peut être similaire à celui des cas traités avec des appareils fixes ³⁴ ou un appareil de contention Vivera®.

En effet, la durée et la technique utilisée sont définies en fonction des éventuelles difficultés rencontrées au cours du traitement et des troubles fonctionnels persistants. Elle peut être fixe (attelles fibrées type Everstick pour les traitements 3/3 ou du fils métalliques, collées sur la face linguale des dents antérieures maxillaires et/ou mandibulaires) ; en général de canine à canine, ou amovible (plaques de Hawley, gouttières thermoformées de contention).

À l'origine, la seule option de contention offerte par Align était basée sur une étape du ClinCheck®, le dispositif de contention sera fabriqué à partir de cette étape en utilisant le même matériau des aligneurs Invisalign ; mais plus épais et plus rigide. Cependant, les dispositifs de contention Vivera® sont³⁵:

- Fabriqué avec la même technologie de pointe que celle utilisée pour fabriquer les aligneurs Invisalign®.
- Moins susceptible de se déformer ou de se fissurer ou de se casser que les autres dispositifs de retenue clairs
- 2 fois plus durable et 30% plus résistant que les autres dispositifs de retenue.

La société fournit 3 jeux de contention Vivera à alterner tous les 15 jours. Il est estimé que cette contention remplira son rôle pendant 9 mois et qu'il faudra ensuite en recommander 3 nouveaux jeux.

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

La durée de contention par les gouttières Vivera® varie selon la fréquence de port de chacune d'entre elles, en effet :

- Si le port est à plein temps, chaque gouttière Vivera doit être remplacée environ tous les 3 mois.
- Si leur port est exclusivement nocturne, les gouttières seront remplacées en moyenne tous les 9 mois. Cependant, lorsqu'un patient est invité à réduire le port à 3 nuits par semaine, la durée de contention peut durer bien plus d'un an.

Les contentions amovibles devront être portées à plein temps au début de la période de contention, leur durée de port se voit réduire progressivement par la suite.

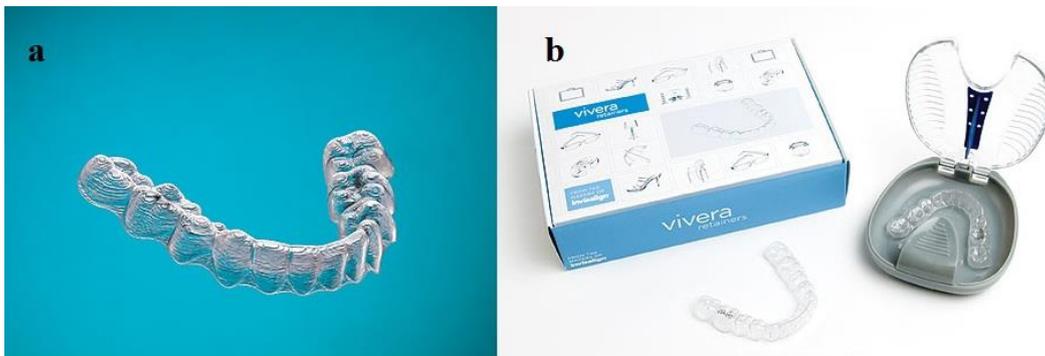


Figure 34: a et b : Gouttière de contention Vivera.

2.3. LES INNOVATIONS DU CONCEPT INVISALIGN®

Aux premiers temps, le système Invisalign® avait comme priorité de se distinguer par un concept qui fait preuve d'originalité et de modernité afin que le monde entier puisse le connaître et le découvrir, mais à partir de l'année 2007, et avec le lancement d'autres produits associés à des progrès inestimables et continus, de nouveaux objectifs ont été fixés tout en ouvrant la porte à des alternatives thérapeutiques qu'on croyait impossible auparavant avec ce type de traitement.

Aujourd'hui, Align Technology dispose d'une large gamme de produits et de logiciels disponibles pour les orthodontistes et même pour les praticiens généralistes.

2.3.1. Le remplacement des empreintes physiques par les empreintes optiques

Le remplacement des empreintes physiques (d'alginat et de PVS) par des scanners numériques intraoraux présente plusieurs avantages pour les praticiens ainsi que leurs patients. Il facilite la pose de diagnostic et la planification du traitement, et permet une soumission plus rapide des dossiers aux laboratoires et aux assureurs. Le patient profite d'une présentation améliorée du cas et une meilleure expérience orthodontique avec plus de confort et moins d'anxiété, une durée de chaise réduite et une récupération plus facile des appareils perdus ou cassés, ainsi qu'un temps de traitement potentiellement réduit.

Cependant, cette technique récente, dont peu de cabinets à travers le monde sont équipés, nécessite une ouverture buccale suffisante pour que la caméra puisse filmer toutes les faces des différentes dents.

En 2011, Align Technology a acheté Cadent, le principal fournisseur de solutions de CAO / FAO numérique 3D pour les industries orthodontique et dentaire, permettant ainsi aux cliniciens de commencer à soumettre des scans numériques 3D à la place des empreintes physiques pour la fabrication des appareils Invisalign®.

Le scanner iTero de Cadent produit des empreintes numériques précises et sans poudre grâce à l'imagerie confocale parallèle et à la reconstruction point par point. Deux nouveaux scanners intraoraux iTero ont été lancés par la suite ; le « iTero Element 2 » et le « iTero Element Flex » qui est un appareil à baguette unique qui transforme les ordinateurs portables compatibles en un scanner hautement portable. Ce dernier est parfait pour les cabinets avec plusieurs emplacements qui ont besoin d'un scanner pratique et facile à transporter.

A partir de 2014, il y a eu une forte demande d'interopérabilité entre les fabricants, par conséquent le scanner True Definition s'est qualifié pour la soumission de cas Invisalign, puis le scanner 3Shape (logiciel Trios) et Sirona (logiciel Cerec Ortho) en 2017.

Cependant, une perspective de fabrication des aligneurs directement au cabinet dentaire a été émise par le Dr Aymeric Philibert³⁶ afin de pallier aux problèmes de mauvaise prédictibilité des sets up, du nombre trop important des aligneurs vendus au patient et leur coût de

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

production assez élevé. Pour lui, un traitement qui nécessite une durée de moins de 18 mois est possible si le cabinet est équipé d'une caméra optique, un logiciel comme le « ortho analyzer », une imprimante 3D et une thermoformeuse.

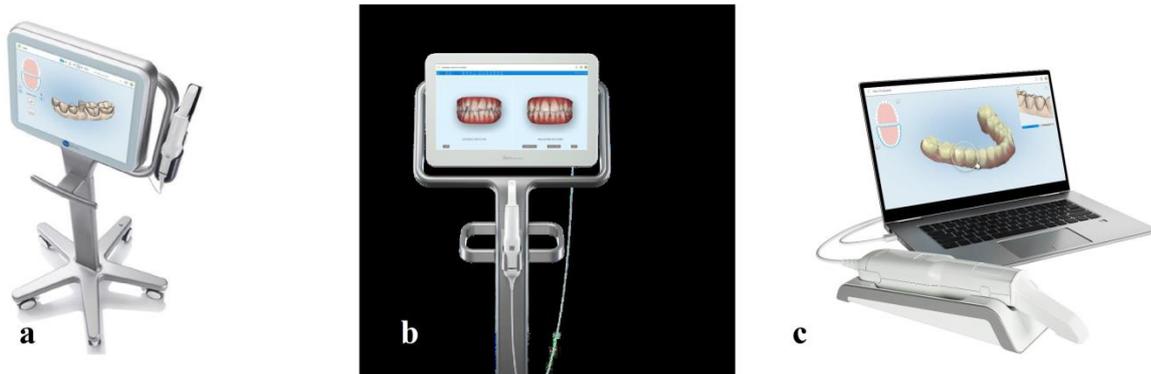


Figure 35.: a, b, et c : Différents modèles du scanner iTero

La dernière application lancée par Invisalign en 2017 sous le nom de « Invisalign Photo Uploader » facilite :

- Création de nouveaux dossiers patients Invisalign
- Prendre des photos de patients de haute qualité à toutes les étapes du traitement sans avoir besoin d'un appareil photo spécialisé ou d'une retouche photo.
- Téléchargement de photos dans le dossier du patient sur le site Invisalign Doctor.
- Exportation de photos individuelles et composites vers d'autres applications mobiles.



Figure 36: Interface de l'application Invisalign Photo Uploader.

2.3.2. Le SmartTrack®

En 2013, Align Technology a annoncé un nouveau matériau de conception des gouttières « Smarttrack® », qui effectue le mouvement avec une force constante, plus douce et plus régulière ; facilitant ainsi le redressement des dents et améliore le confort chez le patient. Les principaux avantages de ce matériau sont :

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

- L'amélioration de l'élasticité et la diminution de la pression, facilitant ainsi au patient le retrait de son aligneur lors des repas et pendant le brossage mais au même temps offre une solidité suffisante pour maintenir la pression légère nécessaire pour déplacer les dents.

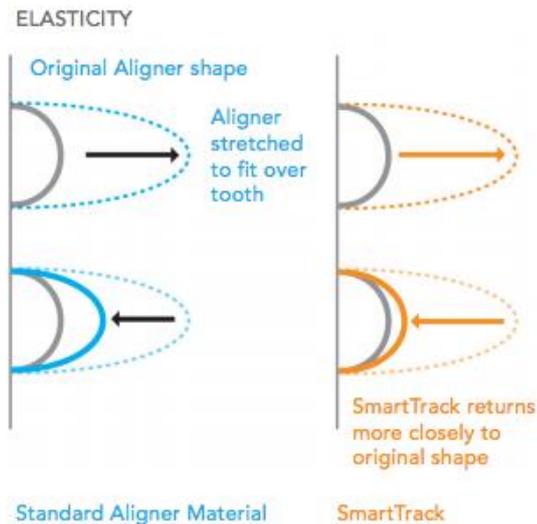


Figure 37: Elasticité améliorée du SmartTrack.

- L'amélioration du sourire du patient ; grâce à la technique de pointe qui consiste en l'application d'un contact intime et une meilleure adaptation autour des dents, des attachements et des espaces inter-proximaux.
- Une pression initiale diminuée mais constante pendant la durée du traitement ; contrairement au premier matériau qui exerçait une pression initiale plus élevée mais qui avait tendance à perdre sa force élastique au cours du premier jour.

Selon une étude récemment publiée par Bräscher et al ³⁷, lorsque les patients ont utilisé Invisalign Smartrack® au lieu des aligneurs Invisalign conventionnels, ils ont rapporté une réduction de l'intensité de la douleur et une réduction de la pression ressentie lors de l'insertion de leur aligneurs.

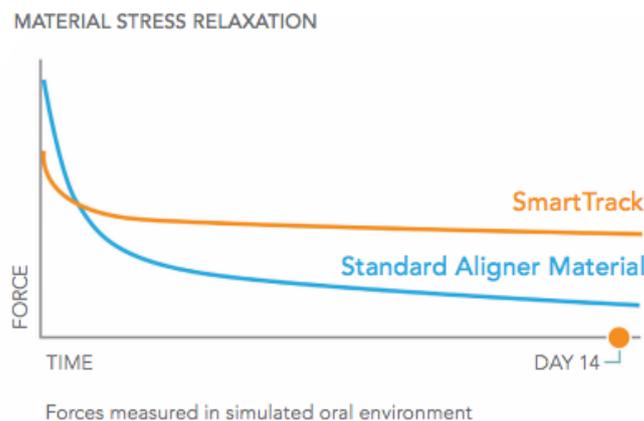


Figure 38: Mesure de la force délivrée par SmartTrack en fonction du temps.

2.3.3. L'évolution de « la série G » d'Invisalign®

Depuis son introduction sur le marché, plusieurs générations d'Invisalign® ont été apparues le long des dernières années, afin d'améliorer la prédictibilité et la précision des mouvements dentaires. Commenant par Invisalign G3, G4, G4, G5, G6, jusqu'à G7 en 2017.

1) Invisalign® G3 et SmartForce®.

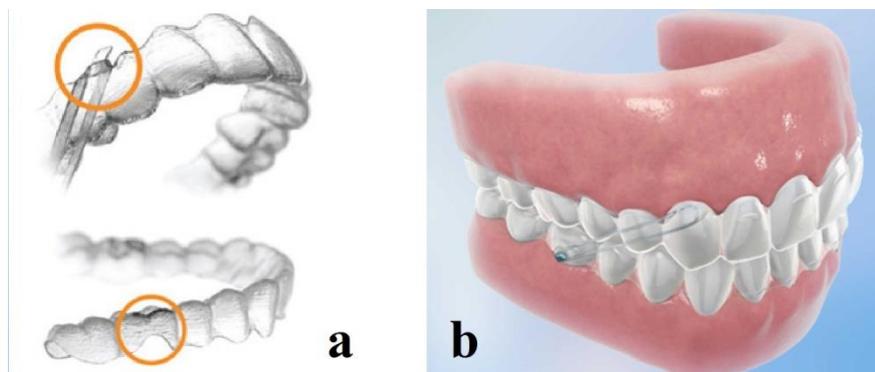
SmartForce® consiste en une série d'accessoires et d'attache­ments géométriques adaptés, par un modelage virtuel, à chaque dent selon sa longueur, sa largeur, son axe de rotation ainsi que son plus grand contour, contrairement aux attaches moins complexes qui existaient auparavant (ovales, rectangulaires et rectangulaires biseautées), ce qui a permis à Invisalign® d'améliorer les mouvements orthodontiques souhaités.

Cette technologie, proposée pour le mouvement d'égression en 2010, a amélioré la distribution de la force extrusive par l'ajout d'une surface biseautée sur la surface occlusale de l'attache­ment. En effet, lorsqu'une charge est transmise sur la surface gingivale de l'attache­ment, le biseau permet à la dent de se déplacer occlusalement. Cependant, les attache­ments biseautés ne sont pas compatibles avec le mouvement complexe requis pour une complète orthodontie.

En 2010, la société a lancé **Invisalign® G3** en tant qu'une collection de fonctionnalités⁴⁶ conçue pour fournir des résultats cliniques meilleurs, surtout dans les cas des malocclusions de classe II et de classe III.

De nouveaux aligneurs et fonctionnalités logicielles ont permis de faciliter l'utilisation d'Invisalign avec les patients de **classe II et de classe III** grâce à des « **coupes de précision** ». Ces dernières sont des prédécoupes au sein des aligneurs ; prescrites par le médecin pour permettre le placement des élastiques de Classe II/ Classe III, remplaçant ainsi les coupes manuelles

. Leur prescription se fait en utilisant une nouvelle interface de "Glisser-Déposer" dans le



logiciel ClinCheck 3.0.

En outre, de nouvelles fonctionnalités dans le SmartForce ont été proposées :

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

- Un accessoire de rotation optimisé pour les prémolaires « **Optimized Rotation Attachments** ».
- Une nouvelle fonctionnalité POWER RIDGE ® pour les dents antéro-inférieures (auparavant disponible uniquement pour l'arcade supérieure)
- Une fonctionnalité linguale POWER RIDGE ® pour le bloc antéro-supérieur

Les améliorations et les innovations d'Invisalign G3 comprennent également de nouvelles préférences cliniques, une meilleure planification pour la réduction interproximale, et l'ajout d'indicateurs de conformité à Invisalign Assist.

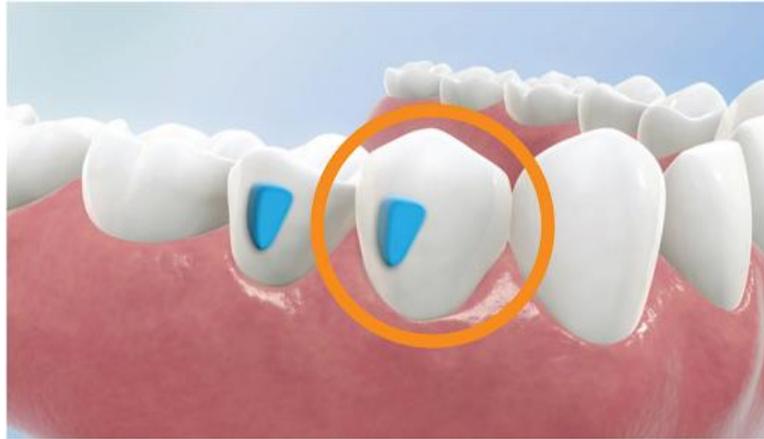


Figure 40: Optimized Rotation Attachments.

2) Invisalign® G4 :

Grâce à ses attachements spécialisés dans le contrôle de la racine, cette génération assure l'alignement parfait des incisives supérieures, canines et prémolaires. Les principales nouveautés apportées par cette génération sont :

- Une amélioration des résultats dans le traitement de l'**openbite antérieur** : Grâce aux données de « **Optimized Extrusion Attachment** » qui offre une activation des aligneurs ajustés individuellement pour une force optimale assurant l'égression des dents antérieures et en utilisant les dents postérieures comme moyen d'ancrage.
- Une prédictibilité augmentée pour les incisives latérales supérieures : avec les nouvelles fonctions « **Optimized Multiplane Movement** » qui apporte un meilleur contrôle de ses dents en générant des forces intrusives. « **PRESSURE POINT** » situé dans la face linguale de l'aligneur améliore aussi cette fonctionnalité
- Contrôle de l'inclinaison radicale des canines : Les attachements doublement répartis dans divers points de contacts vestibulaires améliorent les conditions de réalisation du mouvement alors qu'avec les fonctionnalités « **Optimized Root Control Attachments** » on arrive à réussir une majeure inclinaison mésio-distal de la racine dans le traitement orthodontique nécessitant un majeur mouvement de toute pièce dentaire.

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

- Contrôle radicaire majoré pour les incisives latérales supérieures et toutes les prémolaires : Les fonctionnalités « **Optimized Root Control Attachments** » s'adaptent à la morphologie des dents de chaque patient et améliorent le contrôle de l'inclinaison mésio-distale de la racine.



Figure 41: Optimized Root Control Attachments.



Figure 42: Optimized Multiplane Movement.

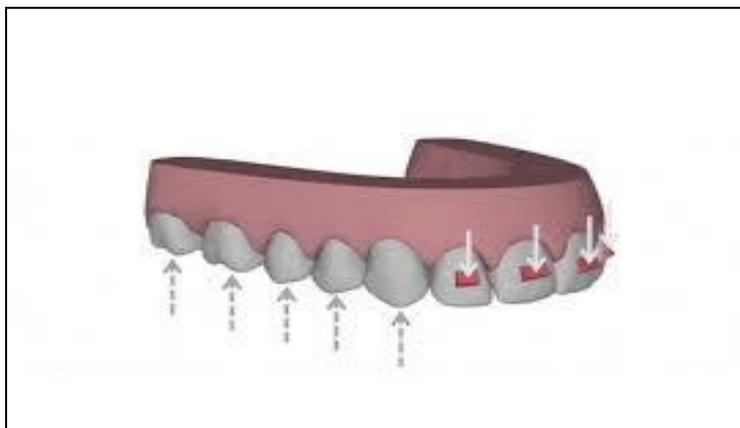


Figure 43 : Optimized Extrusion Attachments.

3) Invisalign® G5 :

Avant quelques années, le traitement de la malocclusion type Deepbite avec la technologie Invisalign représentait un véritable défi pour les orthodontistes. Aujourd'hui, Align Technology offre la possibilité de traiter ce cas grâce à sa technologie SmartForce G5 avec de nouvelles zones de pression et des attaches optimisées, conçues pour niveler la courbe de Spee en améliorant le contrôle de l'ingression antérieure et de l'égression prémolaire.

- Zone de pression pour le contrôle de l'ingression antérieure :

Les tests biomécaniques montrent que la force intrusive des aligneurs peut ne pas être dirigée le long de l'axe des dents antérieures. La nouvelle zone de pression sur la surface linguale des aligneurs est conçue pour rediriger cette force à travers le long axe des ces dents.

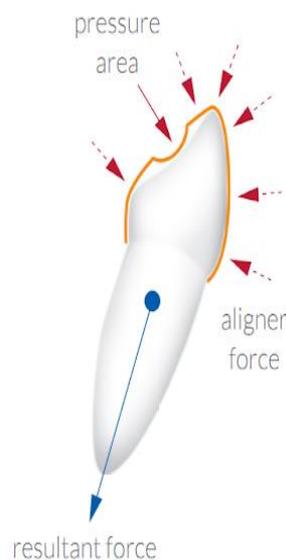


Figure 44 : Résultante de la force intrusive en présence de la zone de pression.

- Attachements optimisés pour l'ancrage et l'égression prémolaire :

Les attachements occlusaux optimisés sont placés sur les prémolaires pour servir d'ancrage dans le mouvement d'ingression antérieure et peuvent être activés pour fournir des forces extrusives aux prémolaires en cas de besoin.



Figure 45: Attachements deepbite optimisés pour l'ancrage de l'ingression antérieure.



Figure 46: Attachements deepbite optimisés pour l'égression des prémolaires.

- les rampes de précision :

il s'agit de petites protubérances sur la face linguale des aligneurs supérieurs, automatiquement personnalisés pour chaque patient et chaque étape de traitement, et automatiquement ajustées pour maintenir le contact antérieur à toutes les étapes du mouvement. Elles sont conçues pour libérer l'occlusion des dents postérieures.

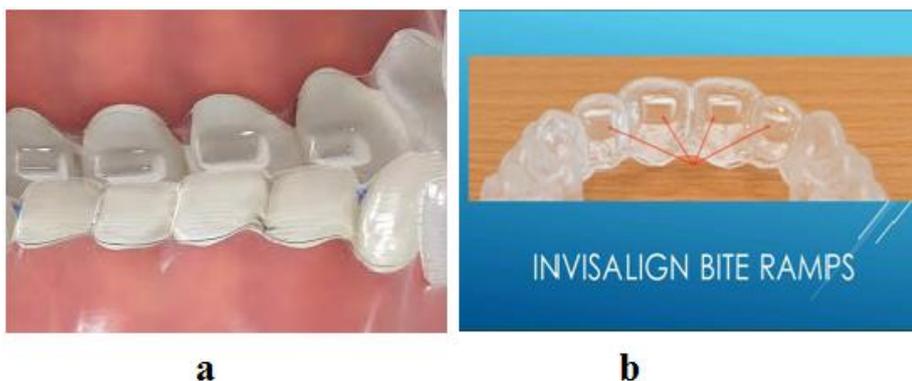


Figure 47: Les rampes de précision Invisalign G5.

4) Invisalign® G6 :

Il s'agit d'un système conçu pour prendre en charge les cas de malocclusions traités avec l'extraction des prémolaires. La fermeture de l'espace d'extraction comporte un contrôle vertical qui aide à l'alignement et au parallélisme des racines. En effet, une grande partie du succès de cette génération vient des fonctionnalités SmartForce® et de la technologie SmartStage®.

SmartForce®G6 : comporte deux fonctionnalités : le système d'attache de rétraction optimisée ORA (conçu pour fonctionner avec la technologie SmartStage afin de fournir des

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

mouvements efficaces et précis pendant la rétraction canine.) et le système d'attaches d'ancrage optimisées OAA (ancrage maximal des dents postérieures).

Le **SmartStage®** est un algorithme avancé permettant de déterminer le mouvement optimal pour chaque dent en concordance avec chaque étape de traitement. Cette technologie est conçue pour modifier et optimiser la forme de l'aligneur grâce à des activations programmées d'alignement qui prédisent les mouvements dentaires dans le but de fermer efficacement l'espace d'extraction,

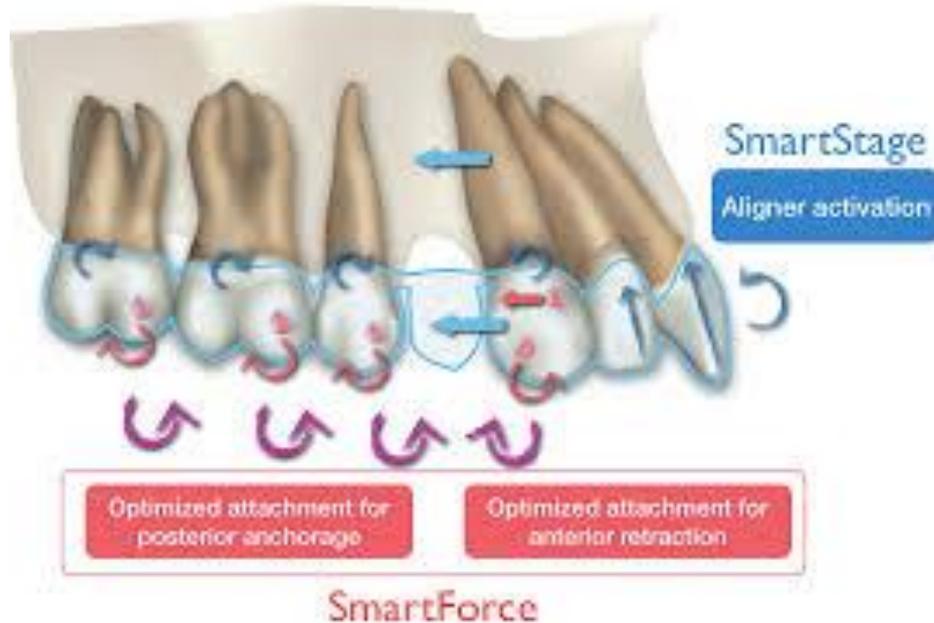


Figure 48: Combinaison des deux technologies d'Invisalign SmartStage+ SmartForce.

Afin de garantir la prévisibilité et l'efficacité de l'alignement des racines, il convient de surveiller trois points clés:

1. **l'adaptation de l'aligneur** : les dents qui ne s'insèrent pas bien dans un aligneur sont considérées comme décalées, ce qui est le problème le plus courant avec les aligneurs Invisalign®. Le premier signe de suivi est un écart entre l'aligneur et les bords incisifs/cuspides des dents, cela peut se produire pour deux raisons, la première est que l'égression des dents antérieures a été programmée dans l'aligneur, la seconde est que la canine se déplace distalement. Il faut savoir qu'initialement un petit espace entre l'aligneur et le bord incisif/cuspide la dent est normal lorsque les gouttières sont changés, cependant il ne doit pas être autorisé à augmenter plus longtemps.

2. **les positions et la fixation des attachements** : à chaque rendez-vous, il faut vérifier soigneusement chaque pièce jointe ; tout accessoire manquant doit être remplacé rapidement par le modèle fourni, si une pièce est perdue, un rendez-vous avec le médecin est requis dans les sept jours pour réparer le problème.

II. DIAGNOSTIC ET PLAN DE TRAITEMENT

3. **la préparation de l'ancrage** : le système G6 peut être programmé avec la technologie SMARTSTAGE pour fournir un ancrage maximal. Un ancrage postérieur modéré permet un mouvement mésial < 5 mm, ces options d'ancrage sont programmées avec ClinCheck et doivent être soigneusement examinées par le médecin avant l'approbation.

Il existe de nombreuses applications pour SMARTFORCE®, selon la conception de mécanique, si plusieurs types de mouvement sont souhaités, il existe une hiérarchie pour les pièces jointes applicables qui est basée sur la base de données Invisalign®. Chaque accessoire optimisé est livré avec un ensemble de règles basées sur l'expérience à long terme du fabricant. Les médecins peuvent évaluer la progression du traitement, mais changer les pièces jointes optimisées n'est pas une option.

5) Invisalign® G7

Invisalign G7 s'appuie sur les versions antérieures d'Invisalign série G avec de nouvelles fonctionnalités pour affiner certains mouvements dentaires et fournir des résultats de traitement de qualité en particulier chez les adolescents. Propulsé par la technologie Invisalign SmartStage, Invisalign G7 offre un meilleur contrôle du déplacement des incisives latérales supérieures, grâce à des attachements dits « multi planes », ainsi qu'un meilleur contrôle de la racine en mésial et distal des prémolaires.

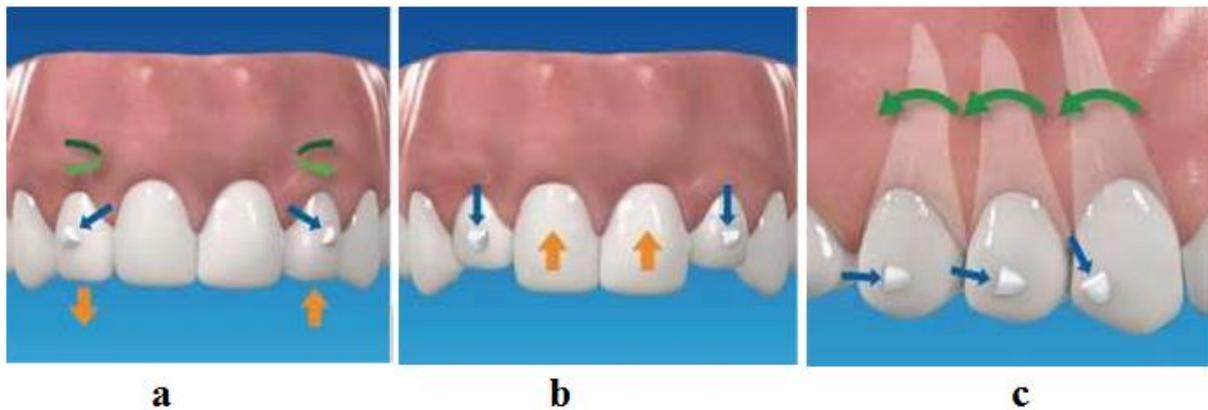


Figure 49: a, b, et c : Les innovations des mouvements dentaires par Invisalign G7.

Tout a commencé par un simple concept de traitement par aligneurs, indiqué que pour des cas simples d'encombrements antérieurs, mais au fil des années et grâce aux investissements de la société Align Technology, ce système a évolué vers un concept sophistiqué accompagné de plusieurs accessoires, outils informatiques et logiciels. En revanche dans le prochain chapitre nous nous concentrerons sur la réalité clinique de ce concept et de l'efficacité des mouvements générés par ses aligneurs, grâce à l'exposition de cas cliniques

Chapitre III:

EVALUATION DE LA TECHNIQUE INVISALIGN

La thérapeutique orthodontique de nos jours offre aux praticiens une multitude de choix aux quels nous faisons face : l'extraction, l'expansion, la distalisation molaire, la fermeture d'espace, les minivis, les autoligaturants, l'orthodontie linguale, le traitement chirurgical, traitement fixe multi-attaches et enfin le traitement par les gouttières invisibles connues sous le nom d'aligneurs, ce qui oblige l'orthodontiste à faire des soins dont l'efficacité est reconnue et prouvée.

Bien que le nombre de patients traités par Invisalign® soit arrivé à plus de trois millions selon Align Technology, les professionnels de santé sont toujours confrontés à deux obstacles majeurs :

- L'insuffisance et le manque d'informations portant sur les indications, les résultats de traitement ainsi que les limites de ce système.
- La demande intensive et croissante des patients souhaitant bénéficier de ce type de traitement.

3.1. ETUDE DE L'EFFICACITE CLINIQUE DU SYSTEME INVISALIGN®

Dans le but de déterminer l'efficacité d'Invisalign ® , une revue systématique a été instaurée par Rossini et al³⁸ en 2015, afin d'offrir un guideline sur ces aligneurs , elle consiste à détailler les aspects importants de cette technique notamment : la durée du traitement , la perception de la douleur et la prise d'analgésiques, l'état parodontal , les différents mouvements orthodontiques et la possibilité de les réaliser ainsi que leurs limitations et les éventuelles récives et résorptions radiculaires.

Le deuxième aspect de cette revue a été consacré aux résultats de traitement par Invisalign® face à certaines situations cliniques, telles que : le deepbite, l'overbite, la classe II d'Angle, l'extractionetc.

L'objectif principal de cette revue est de fournir une compréhension plus actuelle des effets de traitement, les indications, les avantages et les limites du système Invisalign®.

3.1.1. La durée du traitement

Le service marketing de la compagnie d'Align Technology a présenté le système en étant plus court, dans le but d'ajouter un avantage attirant pour les patients surtout, et pour les praticiens.

Plusieurs études ont été réalisées afin d'arriver à des résultats prouvant à quel point cette technique est efficace en fonction du temps et répondre à la question posée par de nombreux praticiens : le traitement Invisalign® est-il réellement plus court ?



Figure 50: Progression du traitement Invisalign à travers le temps.

En 2014, BUSCHANG et AL³⁹ ont consacré leur temps à étudier l'efficacité des gouttières Invisalign® sur 300 patients présentant des malocclusions modérées sans extraction.

La durée de traitement avec les aligneurs était en moyenne plus courte de 5.5 mois.

LI en 2015⁴⁰, a étudié le traitement de la classe I avec extraction en utilisant le traitement fixe et Invisalign® en prenant en considération la difficulté du cas qui est un facteur déterminant. Le résultat était en faveur du traitement conventionnel qui exigeait 22 mois, alors que les aligneurs nécessitaient 31 mois et demi dans les cas avec extractions mais dans le cas contraire c'est-à-dire sans extraction, Invisalign® offrait une durée plus courte.

JIAFENG GU⁴¹ à son tour, en 2017 a conclu que la durée de traitement avec Invisalign® est réduite de 5.7 mois par rapport au traitement conventionnel mais malheureusement les résultats d'occlusion n'étaient pas aussi bons que l'on souhaitait surtout avec la procédure d'extraction qui rend la durée de traitement encore plus longue.

A travers les résultats de ces études, on peut dire que la durée de traitement par Invisalign® est plus courte de 5.5 mois par rapport au traitement multi-attaches dans les cas ne nécessitant pas d'extractions. Dans les cas contraires, les traitements deviennent sensiblement plus longs ce qui n'est pas en faveur des arguments donnés par la compagnie surtout que les praticiens américains le considère comme une « FALSE INFORMATION » qui veut dire une information erronée.

3.1.2. La perception de la douleur et la prise d'analgésiques

L'absence de douleur dans un traitement est un facteur naturellement attirant pour chaque patient, c'est pour cela que la compagnie d'Align Technology l'utilise comme un argument clé dans la commercialisation de son système.

III. EVALUATION DE LA TECHNIQUE INVISALIGN

En 1996, SCHEURER et AL⁴² rapportaient que la douleur était plus intense chez les femmes que chez les hommes. Puis en 1997, STEWART et AL⁴³ rapportaient que la douleur est plus importante avec les appareils fixes qu'avec les gouttières amovibles.

De nos jours, la question est à quel point ces conclusions sont valables et comparables au traitement par aligneurs ?

Dans le cadre des études comparatives entre le traitement par boîtiers conventionnels fixes et le traitement par Invisalign® réalisées par le département d'orthodontie à l'université de Montréal, les conclusions suivantes ont été tirées⁴⁴ :

- Après 24 heures de traitement et après l'insertion de la 10ⁱème gouttière/ 4ⁱème fil, la perception de la douleur pour les patients traités par Invisalign® était moins intense par rapport aux autres patients
- L'examen des tissus mous a révélé que les gouttières provoquent moins d'irritation que les boîtiers fixes.
- Peu de patients ont eu recours à des analgésiques et exclusivement pendant la première semaine de traitement, il n'y avait pas de différence significative entre les groupes.
- La douleur était au sommet de son intensité entre 5 et 24 h après la mise en place de la première gouttière mais elle diminuait progressivement après chaque phase.

Une autre étude a été faite par une clinique dentaire privée et approuvée par le comité d'examen institutionnel de l'université IMAM ABDULRAHMAN BIN FAISAL en Arabie Saoudite⁴⁵. Cette étude a révélé qu'une plus grande proportion de patients traités par des appareils fixes a rapporté de la douleur par rapport à ceux traités par les gouttières amovibles Invisalign®, de même l'intensité de la douleur enregistrée en utilisant l'EVA était plus élevée dans le deuxième groupe. Pour l'ensemble des patients, cette intensité a progressivement diminué au cours de la première semaine de pose des appareils, de plus l'utilisation des analgésiques était moindre avec les aligneurs.

La grande acceptation du système Invisalign® pourrait être attribuée à la grande adaptabilité des patients à la gouttière et à leur grande satisfaction quant à l'avancement et au résultat du traitement, ce qui pourrait minimiser la perception de la douleur tout au long de la période de traitement.

3.1.3. L'état parodontal

Il est bien admis que l'hygiène buccale est l'élément clé du maintien de la santé des tissus parodontaux pendant toute la durée du traitement orthodontique.

La maladie parodontale n'est pas une entité pathologique unique, elle comprend un certain nombre de lésions inflammatoires et dégénératives du parodonte à savoir : la gingivite, la récession, les saignements, l'hyperplasie gingivale ainsi que les dommages des processus alvéolaires, ceux-ci ont une prévalence très élevée chez les enfants et les jeunes adultes.

La majorité de ces complications ont déjà été rapportées avec un appareil orthodontique fixe en raison de sa conception et de sa biomécanique compliquée qui pourrait causer un traumatisme direct à la muqueuse régionale. De plus, la conception de l'appareil fixe aide à l'accumulation de plaque et entrave son contrôle en utilisant des méthodes d'hygiène buccale conventionnelle.

Par le caractère amovible de ces gouttières, la plaque et les irritations muqueuses sont moindres, de plus elles sont considérées – esthétiquement- comme une option thérapeutique acceptable pour la plupart des patients

3.1.4. Les mouvements orthodontiques

3.1.4.1. L'ingression

L'ingression dentaire fait partie des mouvements les plus difficiles à réaliser du fait de ces nombreux effets indésirables.

Avec l'arrivée de la technique Invisalign®, et par ses forces douces et continues, ce mouvement semblait plus facile à contrôler avec moins de résorption radiculaire. Ces gouttières permettent une ingression pouvant aller jusqu'à 0.72 mm par arcade, surtout au niveau des incisives centrales inférieures qui ont le taux le plus élevé (46.6%), contre les incisives latérales supérieures qui marquent le taux le plus bas (32.5 %).

L'étude de KRAVITZ ⁴⁶ en 2009 a montré la possibilité de traiter une supraclusion par une ingression de 1.44 mm, d'où la recommandation de ce système pour les cas simples impliquant ce type de malocclusions.

3.1.4.2. L'égression

Indiqué pour le traitement des béances orthodontiques, ce mouvement présente souvent un risque élevé de récurrence.

Les études de KRAVITZ et AL ⁴⁶ en 2009 sur le fonctionnement d'Invisalign® dans la région antérieure ont montré que seulement 13 des 64 dents examinées ont été égressées de plus de 1mm, tandis qu'aucune autre n'a réalisé ce mouvement de plus de 0.8 mm.

Du fait du manque de rétention au niveau des surfaces dentaires, l'égression est le mouvement le moins précis pour le traitement avec les aligneurs, le taux de prédictibilité était de 30% et la longueur moyenne de 0.56mm dont le maximum arrive à 0.71mm, mais **l'utilisation des attachements a prouvé son efficacité** à dépasser cet obstacle, par conséquent les praticiens **n'indiquent pas Invisalign® pour les cas d'une béance antérieure supérieure à 1.5 mm.**

3.1.4.3. Le Tipping (Version coronaire).

Selon VLASKALIC et BOYD ⁴⁷, ce mouvement peut être réalisé régulièrement grâce à Invisalign® avec une longueur pouvant aller jusqu'à 2 mm. Cependant, le manque de contrôle

du mouvement et la perte d'ancrage peuvent compliquer le passage d'une gouttière à une autre, d'où la nécessité d'utiliser des attachements.

KRAVITZ ⁴⁶en 2009, a montré que le taux le plus élevé était enregistré pour les incisives latérales supérieures (43.1 %) et le plus faible par les canines inférieures (26.9%).

D'autres auteurs, comme BOYD et DJEU ont conclu qu'il est généralement difficile d'utiliser la technique Invisalign® dans la correction des relations antéropostérieures.

3.1.4.4. Torque (version radiculaire)

Dans l'étude de l'expression du torque par le système Invisalign® par DJEU et AL ⁴⁸ en 2005, 8° uniquement ont été enregistrés, ce qui semble plus faible par rapport à l'appareillage fixe qui atteint des scores significativement plus élevés.

En 2013, CASTROFLORIO et AL ⁴⁹ont étudié le mouvement de version radiculaire sur 12 dents antéro-supérieures de 06 patients, les résultats obtenus sont les suivants : 09 dents ont réalisé un plus grand mouvement de la racine que de la couronne, dont le torque moyen était :

- A t₀ = 20.95°
- Lors de l'évaluation = 21.12°
- A t₁ (fin de traitement) = sa variation moyenne était de 10.4°.

Ceci montre qu'Invisalign®, associée aux différents attachements et accessoires, offre des résultats plus crédibles. Les auteurs ont conclu que ce système ne peut pas atteindre une version radiculaire dépassant 10°.

3.1.4.5. La rotation.

Les canines et les prémolaires possèdent le mouvement de rotation le plus difficile à effectuer, d'où la nécessité des attachements.

Avec Invisalign®, la correction de la rotation des dents se fait en créant de l'espace grâce à la réduction interproximale qui était le sujet d'étude de KRAVITZ ⁵⁰avec d'autres auteurs à l'université d'ILLINOIS – CHICAGO en 2008, et dont l'échantillon était formé de 38 patients de plus de 18 ans traités avec ces gouttières. Il y avait 03 groupes :

- 1)- utilisant seulement des attachements (AO)
- 2)- utilisant la réduction interproximale uniquement (RIP)
- 3)- n'ayant reçu aucune intervention.

Les résultats de cette étude ont montré que les attachements améliorent la réussite du mouvement de rotation. Les praticiens et les auteurs ont conclu qu'Invisalign® ne peut être indiqué pour le traitement des rotations excédant 15°, au delà de ce taux, la précision du mouvement devient significativement plus réduite.

3.1.5. La distalisation molaire

En dehors de la période de croissance, la distalisation molaire supérieure est indiquée pour le traitement des patients présentant un défaut squelettique léger type classe II sans extraction.

Les forces extra-orales et l'ancrage osseux ont rapporté des résultats satisfaisants, mais malheureusement ils peuvent produire un Tipping de ces dents ou la perte d'ancrage antérieur d'où la nécessité d'une alternative thérapeutique plus esthétique et plus confortable avec moins d'effets indésirables.

En 2014, SIMON et AL^{51,52} ont étudié la distalisation des molaires par Invisalign® où la valeur moyenne était de 2.7 mm avec une meilleure précision du mouvement lors de l'utilisation des attachements optimisés à la surface de la dent.

La compagnie d'Align Technology recommande 40-50 semaines pour distaliser les dents postérieures selon la quantité du mouvement dentaire.

3.1.6. L'extraction et la fermeture des diastèmes

Au début de son introduction, le système Invisalign® présentait de nombreuses limitations telles que l'incapacité à contrôler le mouvement des racines et le déplacement d'un grand nombre de dents. Cependant, les progrès dans la qualité des matériaux et des attaches, ainsi que l'introduction d'un nouveau système de force, ont élargi la gamme de possibilités de traitement de la malocclusion légère aux cas d'extraction les plus difficiles.

Plusieurs études et cas cliniques traités, ont confirmé l'efficacité de la technique Invisalign® dans les situations d'extraction et fermeture d'espace, parmi lesquels on cite celle de Boyd⁵³ en 2000, qui a rapporté de bons résultats cliniques pour des encombrements, et des diastèmes de 3 à 6mm.

Cependant, le contrôle de l'axe radiculaire lors des déplacements dentaires reste aléatoire, d'où la limitation de ce système qui, pour certains auteurs, doit être complétée par un traitement fixe multi-attaches.

3.1.7. L'Openbite

SCHUPP, HAUBRICH et NEUMANN ont présenté deux cas de patients avec des malocclusions type openbite antérieurs et qui ont été traités avec succès par la technique Invisalign®⁵⁴.

La première patiente âgée de 15 ans avait un bon état général et un examen clinique révélant :

- Un openbite avec des diastèmes antérieurs.
- Insuffisance de guidage canin lors des mouvements de latéralité.
- Stigmatisation pendant la parole.
- Dyskinésie de la langue.

III. EVALUATION DE LA TECHNIQUE INVISALIGN

Avant de commencer le traitement, il lui a été conseillé de suivre une thérapie myofonctionnelle.

Des attaches rectangulaires verticales étaient collées aux incisives supérieures, canines supérieures et inférieures, premières prémolaires supérieures et les prémolaires inférieures.

30 aligneurs supérieurs et 20 aligneurs inférieurs ont été utilisés

La phase de raffinement a nécessité 10 aligneurs supérieurs supplémentaires (7 pour l'égression de 1.1mm des incisives et 03 pour la rétraction et la fermeture des espaces).

Après 20 mois de traitement, l'openbite et les espaces entre les incisives centrales étaient fermés, le guidage canin bilatéral était réalisé avec un overjet et un overbite correctes.

Les projections finales de ClinCheck correspondaient étroitement aux résultats cliniques obtenus. Les superpositions frontales de l'analyse de prétraitement ClinCheck et la projection post-traitement ont indiqué la quantité d'égression nécessaire pour la correction de l'openbite.

Les résultats de traitement sont restés stables 12 mois après la fin de la thérapie.



Figure 51: Photographies intra orales accompagnées de la radiographie panoramique de la patiente.



Figure 52: Stabilité de la correction de l'openbite et la fermeture des diastèmes antérieurs 12 mois après la fin du traitement.

Source: Schupp W, Haubrich J, Neumann I. Treatment of anterior open bite with the Invisalign system. *J Clin Orthod.* 2010

III. EVALUATION DE LA TECHNIQUE INVISALIGN

Le deuxième cas était d'une femme âgée de 31 ans qui présentait un openbite avec un encombrement antérieur au niveau des deux arcades et une relation molaire de classe I.

Les praticiens ont conseillé une thérapie myofonctionnelle pour corriger le schéma de déglutition perturbé par dyskinésie oro-faciale et une langue protrusive.

Des attachements ont été collés de la canine à la canine au niveau des deux arcades pour réaliser l'égression des dents antérieures.

La première phase de traitement a impliqué 20 aligneurs supérieurs et 14 aligneurs inférieurs, après 09 séries de gouttières, l'openbite a commencé à se fermer.

Après 10 mois de traitement, l'openbite était presque fermé mais la patiente a demandé le retrait des attaches pour son mariage.

02 semaines plus tard, le raffinement du cas a commencé avec de nouveaux attachements liés à la canine inférieure droite (33) et des prémolaires inférieures afin de réaliser l'égression responsable de la fermeture de l'openbite latéral restant.

Après 17 mois de traitement, la béance antérieure avait été complètement fermée, l'overbite et l'overjet ont été établis, des dents antérieures bien alignées et un guidage canin avait été réalisés des deux côtés correspondant étroitement aux projections ClinCheck.

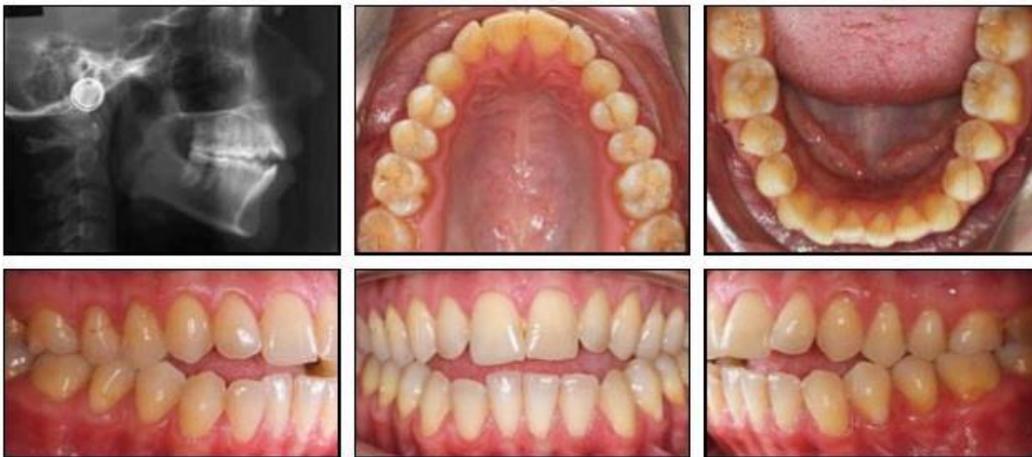


Figure 53: Photographies extra et intra orales avant le début du traitement.

Les incisives supérieures et les canines avaient été égressées d'environ 2.5mm et les incisives inférieures ainsi que les canines de 2mm, les molaires avaient été ingrèssées d'environ 1mm, la patiente portait des gouttières pour la contention. 14 mois après la fin du traitement, les résultats sont restés stables.



Figure 54: Résultat après 10 mois de traitement.

Source: **Schupp W, Haubrich J, Neumann I.** Treatment of anterior open bite with the Invisalign system. *J Clin Orthod.* 2010

Comme on a vu dans ces deux cas illustrés, il est important d'obtenir une position fonctionnelle de la langue grâce à la thérapie myofonctionnelle pour assurer la stabilité des résultats de traitement.

Invisalign® offre une option thérapeutique confortable et presque invisible pour fermer les malocclusions type openbite antérieur. Cependant, une surveillance étroite pendant la phase de contention est nécessaire pour empêcher la réouverture de l'openbite, notons que le protocole de contention pour une béance traitée avec des aligneurs est identique à celui d'un cas traité avec des appareillages conventionnels fixes.

3.1.8. Le Deepbite

Le traitement de l'occlusion profonde chez un patient avec un profil squelettique normal devrait viser à produire une inclinaison rapide et contrôlée des incisives inférieures et à améliorer l'exposition de leurs antagonistes sans aplatir la ligne du sourire.

Giancotti présente trois cas de Deepbite traités par Invisalign®⁵⁵ parmi lesquels nous allons citer un cas qui implique une femme âgée de 23 ans avec une relation molaire de classe I d'ANGLE, un deepbite et un léger encombrement au niveau des deux arcades.

Son traitement a duré 15 mois et a nécessité 23 aligneurs supérieurs et 29 aligneurs inférieurs pour la phase initiale mais on a ajouté 06 autres mois supplémentaires et obligatoires pour la phase d'affinement inférieure.

L'encombrement supérieur et inférieur a été corrigé par une réduction interproximale, le deepbite est réglé en nivelant l'arcade mandibulaire, l'inclinaison contrôlée des incisives inférieures et une légère ingression des incisives supérieures. L'occlusion postérieure adéquate a été préservée.

III. EVALUATION DE LA TECHNIQUE INVISALIGN



Figure 56: Photographies extra et intra orales accompagnées de la téléradiographie de profil de l patiente.



Figure 55: Résultats du traitement après 21 mois.

Source: **Giancotti A, Mampieri G, Greco M.** Correction of deep bite in adults using the Invisalign system. *J Clin Orthod.* 2008

L'importance de niveler la courbe de SPEE dans la correction de ce type de malocclusion a été bien documentée et prouvée.

Selon BOYD , le système INVISALIGN® peut être efficace dans le traitement du Deepbite en raison de la prédictibilité des mécanismes d'ingression et de mise à niveau conçues lors de la procédure ClinCheck , de plus , il est généralement bien accepté par le patient , garantissant ainsi une bonne observance du schéma thérapeutique.

3.1.9. Classe II d'Angle

Au cours de ces deux dernières décennies, plusieurs articles ont démontré que la caractéristique squelettique prévalente chez les patients de classe II d'ANGLE consiste en une rétrusion mandibulaire, pour une telle raison , une stratégie de traitement efficace universellement acceptée et basée sur la promotion d'un repositionnement mésial de la mandibule pour corriger cette malocclusion , de plus , à partir d'une analyse dentaire , il a été démontré que jusqu'à 85% de ces patients présentent une rotation mésiale de leur première et deuxième molaires maxillaires , l'une des causes du déplacement des molaires est le mouvement mésial dans le Leeway lors du passage de la dentition mixte à la dentition permanente.

Selon Giancotti, la correction orthodontique des malocclusions légères à modérées de classe II d'ANGLE peut être gérée de manière prévisible et efficace en se conformant aux mêmes exigences biomécaniques qu'en orthodontie conventionnelle. D'ailleurs lorsque les cliniciens décident de traiter une malocclusion de classe II il est important d'évaluer soigneusement son étiologie et de suivre classiquement les étapes biomécaniques suivantes ⁵⁶:

1)- corriger toute rotation mésiale des premières et deuxièmes molaires maxillaires.

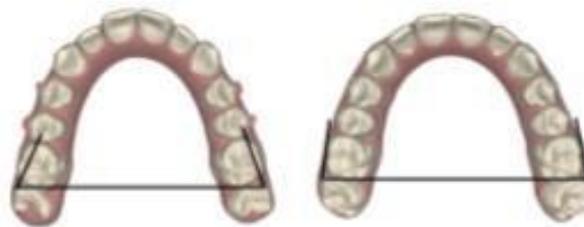


Figure 57 : Evaluation de la rotation molaire.

2)- étendre l'arcade maxillaire.

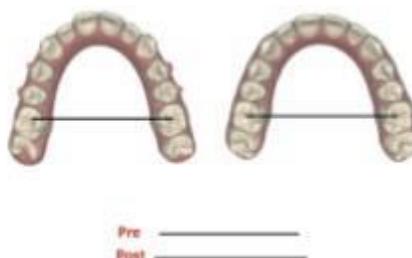


Figure 58: Expansion de l'arcade maxillaire.

III. EVALUATION DE LA TECHNIQUE INVISALIGN

3)- coordonner les deux arcades.



Figure 59 : Coordination des arcades.

4)- corriger le torque lingual des incisives supérieures.

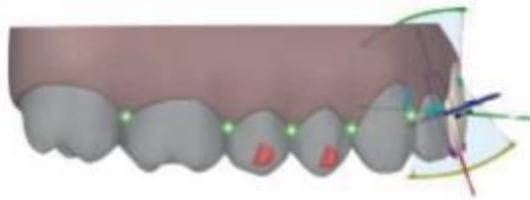


Figure 60 : Evaluation finale du torque incisif.

5)- utiliser les élastiques de classe II.



Figure 61: Utilisation des TIM.

Source : Giaccotti A, Pirelli P, Mampieri P. Correction of Class II Malocclusions in Growing Patients by Using the Invisalign® Technique: Rational Bases and Treatment Staging.

Parmi les rapports de cas de Dr Giaccotti⁵⁶, nous allons présenter un cas d'un Patient âgé de 13 ans avec un bon état général et un profil facial concave, l'examen endobuccal a révélé :

- Une malocclusion type classe II division 2 d'ANGLE bilatérale.
- Deepbite de -5 mm, overbite = 0 mm.
- Linguo-version des incisives supérieures.
- Léger encombrement au niveau des deux arcades.

L'analyse céphalométrique a montré une rétrusion évidente des deux bases maxillaires, tandis que Les objectifs du traitement étaient :

III. EVALUATION DE LA TECHNIQUE INVISALIGN

- Corriger la classe II div. 2 d'ANGLE.
- Obtenir un overjet et un overbite idéaux.
- Favoriser le repositionnement antérieur de la mandibule.
- Obtenir une relation molaire et canine de classe I d'ANGLE.
- Réaliser un bon nivellement et alignement des dents.
- Améliorer le profil facial et l'obtention d'une position naturelle des lèvres.

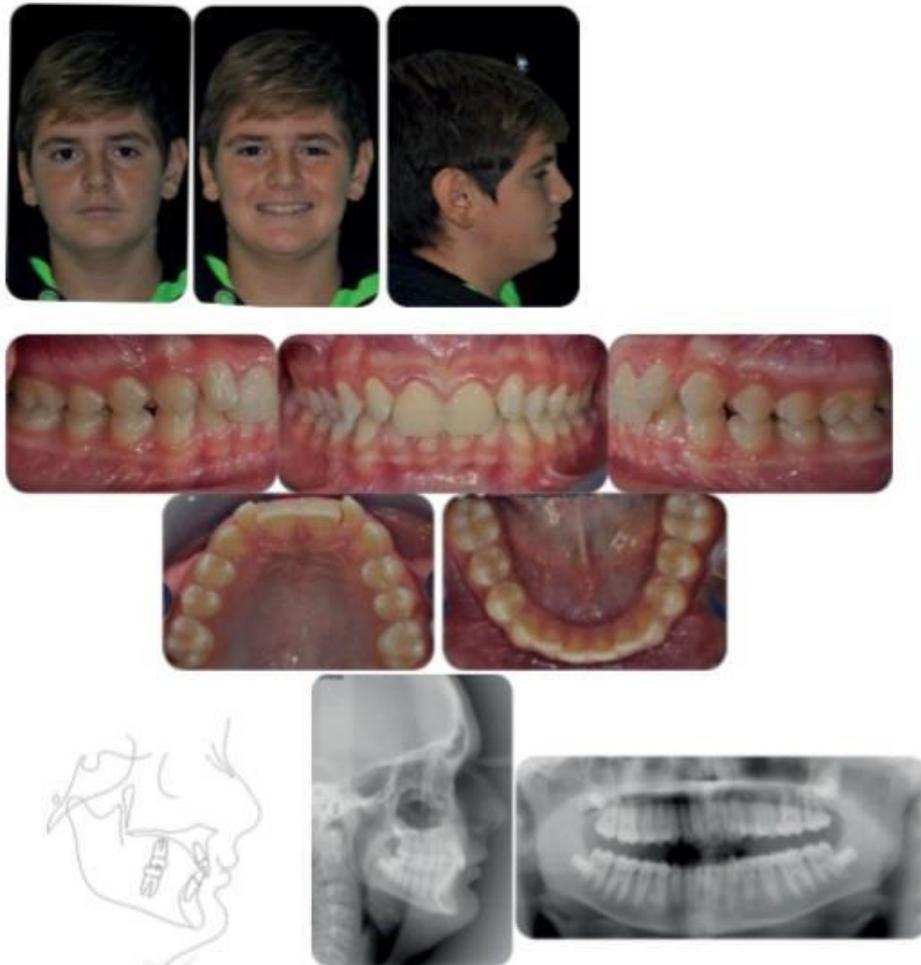


Figure 62 : Dossier orthodontique initiale du patient.



Figure 63 : Simulation virtuelle des mouvements entre la simulation initiales et finales : a: Initiale, b: Finale, c: Comparaison.

Le traitement a commencé par la correction de toute rotation mésiale de la première et de la deuxième molaire supérieure ainsi que l'expansion des deux arcades pour permettre la coordination entre elles.

Les attaches sur l'arcade supérieure ont été programmées pour réaliser l'ancrage nécessaire responsable de la correction du torque des incisives supérieures, de plus, les attachements dans les deux arcades ont été conçus pour modifier la version des prémolaires afin d'obtenir de bonnes relations occlusales.

Au cours de la première phase de traitement, les élastiques de classe II ont été attachés à partir d'un crochet dans l'aligneur supérieur au bouton métallique collé sur la face vestibulaire des premières molaires inférieures.

Lors de la phase de raffinement, afin de permettre le repositionnement antérieur de la mandibule, les élastiques de classe II ont été attachés à partir d'un bouton transparent lié à la surface des canines supérieures au bouton métallique sur les premières molaires inférieures.

Des modèles numériques ont été pris par le scanner iTero® et le dossier a été soumis à Invisalign Full ®.

La correction a eu lieu par une série de 14 aligneurs lors de la première phase, et une étape de finition qui a nécessité 10 aligneurs, après 13 mois de traitement, les objectifs fixés ont été atteints, la malocclusion de classe II d'ANGLE a été complètement corrigée, l'overbite est idéal et l'overjet est réduit de 5 mm à 2mm. L'analyse céphalométrique post-traitement montre une modification évidente du torque incisif supérieur confirmant ainsi l'efficacité de l'auxiliaire Power Ridge ® ajouté aux gouttières, ce qui a entraîné un repositionnement antérieur de la mandibule principalement responsable de la correction de la malocclusion. La croissance faciale a été favorable surtout que les photographies extra-orales montrent une amélioration à ce niveau.



Figure 64: Dossier orthodontique post traitement.



Figure 65: Comparaison entre les résultats cliniques obtenus et la simulation virtuelle par ClinCheck.

Dans les cas illustrés par Dr Giancotti, l'efficacité des gouttières Invisalign® dans la correction des malocclusions dentaires de classe II d'ANGLE a été démontrée, néanmoins la connaissance approfondie de ce système et une expérience suffisante dans sa pratique sont d'une importance primordiale avant d'essayer les mouvements orthodontiques complexes.

L'avantage important d'une telle technique orthodontique consiste en le fait que les aligneurs empêchent l'égression des dents malgré l'utilisation des élastiques de classe II et par conséquent ils permettent le contrôle approprié de la verticalité.

3.1.10. Classe III, traitements chirurgico-orthodontiques

Lorsque le décalage entre les bases maxillaires est très prononcé, l'option chirurgicale reste la meilleure solution pour retrouver une mastication acceptable et un engrenement idéal.

La phase orthodontique pré-chirurgicale permet d'aligner, de niveler les arcades et de redresser les dents afin de donner au chirurgien l'amplitude de déplacement nécessaire à la correction squelettique, la chirurgie quant à elle, offre la possibilité de créer un bon sourire et d'obtenir une occlusion plus fonctionnelle. L'orthodontie poursuivie après la chirurgie consiste essentiellement en un travail de finition pour parfaire l'engrenement dentaire. Cette poursuite de thérapie aboutit à la consolidation osseuse post-chirurgicale et qui est suivie d'une période de contention.

Depuis les débuts de ce système de gouttières, peu d'étude ont été publiées concernant son efficacité, elles sont souvent sous forme de rapports de cas cliniques apportant des informations sur sa stabilité et la prédictibilité de ces résultats, cependant, aucune série n'a été diffusée impliquant des patients présentant une malocclusion complexe préparée par Invisalign® en vue d'une chirurgie orthognathique, seuls trois rapports de cas (WOMACK en 2008, MARCUZZI en 2010, PROFFIT en 2012) suggèrent que cette technique peut être aussi efficace et plus rapide dans les traitements orthodontico-chirurgicaux que les appareils fixes traditionnels^{57,58}.

3.2. LES AVANTAGES DE LA TECHNIQUE

- **Invisibilité et discrétion**

La discrétion des aligneurs représente l'avantage majeur de cette technique notamment chez l'adulte⁵⁹, car elle permet la conservation du sourire et l'incorporation facile dans la vie sociale et professionnelle même dans le cas d'extraction où la dent manquante peut être intégrée dans la gouttière à la demande. Bien que les aligneurs Invisalign se pigmentent le plus comparativement à leurs concurrents, un bon entretien permettra à ces aligneurs de ne pas changer de couleur⁶⁰.

- **Amovibilité et maintien de la santé parodontale**

Les aligneurs Invisalign® sont très faciles à placer et à enlever, sans contrainte, pour l'alimentation et lors du brossage, ceci permet une hygiène bucco-dentaire optimale et maintient, par conséquent, la santé parodontale^{61,62,63,64,65} qui représente un critère important dans la réussite du traitement et qui a été signalée comme un inconvénient majeur lors de la thérapie fixe conventionnelle .

De plus, Invisalign offre une possibilité d'insertion des aligneurs sur tous les types de dents (naturelles ou prothétiques) la possibilité de les utiliser pendant le traitement pour diffuser des produits de blanchiment ou ceux à base de chlorhexidine⁶⁶, ainsi que la possibilité de les retirer en cas de rendez-vous important.

- **Biocompatibilité**

Les gouttières Invisalign® sont composées de polyuréthane à poids moléculaire élevé de qualité médicale, avec addition de méthylène diphényl diisocyanate et 1,6 hexanediol.

Selon les résultats de l'étude de Schuster⁶⁷ confirmés par ceux de Gracco⁶⁸, ont prouvé l'absence de relargage de monomères ou de sous-produits, ce qui suggère que ces aligneurs seraient chimiquement stables. Cependant des études *in vivo* sont nécessaires pour évaluer l'influence des conditions intra orales sur la stabilité physico-chimique des aligneurs.

Après avoir prouvé que le passage dans l'épithélium de faibles doses de nickel durant un traitement fixe provoque une hyperplasie gingivale par Gursoy et col⁶⁹ en 2007, les aligneurs Invisalign n'ont montré *in vitro* aucun signe de cytotoxicité ou d'oestrogénicité⁷⁰.

- **Confort et absence de douleurs**

Le patient traité avec Invisalign® bénéficie d'un confort indéniable car les aligneurs sont conçus de manière très précise et sur mesure, permettant ainsi une parfaite intégration et évite les irritations et les affections buccales, cet avantage aide à l'adaptation au traitement en une période courte, et évite les urgences liées au décollement et bris de matériel. D'après l'étude de Nedwed et Miethke⁷¹, 83% des patients s'adaptent au traitement en moins d'une semaine, tandis que 35% des patients ne se plaignent d'aucune douleur, et 54% rapportent une légère douleur au cours des 2-3 premiers jours de chaque nouvelle

gouttière 46% des patients n'ont pas présenté de troubles de la parole. Aucun des patients n'a ressentie de douleurs articulaires.

- **Application de forces douces et prévention des résorptions radiculaires**

L'étude de Iglesias-Linares et col⁷² ainsi que celle de Gay et son équipe⁷³ ont prouvé que le risque de résorption radiculaire externe était le même lors des traitements par aligneurs que lors d'un dispositif fixe et qu'il dépendait principalement de facteurs génétiques.

Cependant, le contrôle de forces appliquées sur les dents par un long séquençage d'aligneurs et l'application de forces douces et intermittentes permet de réduire le risque de résorption radiculaire.

De plus, ces gouttières possèdent un rôle protecteur contre le bruxisme et les douleurs articulaires et myofaciales⁷⁴, et peuvent aider à corriger des parafonctions comme l'onychophagie.

- **Rapidité et facilité**

L'apport technologique a valorisé cette technique en la rendant plus précise, plus rapide et surtout plus efficace. La simulation virtuelle des mouvements dentaires par le logiciel ClinCheck permet, non seulement, de programmer les déplacements dentaires mais aussi de contrôler les mouvements parasites, la planification approuvée des différents accessoires et les modifications nécessaires. La phase de nivellement des arcades indispensable et inévitable dans les techniques multi-attaches est éliminée.

La compréhension aisée de cette technique et de son principe par le patient après la visualisation virtuelle des étapes de traitement permet de réduire le temps de travail au fauteuil et fournit plus de détails sur le futur profil du patient. Le renouvellement des aligneurs au cabinet nécessite moins d'instruments, et autorise des rendez-vous plus courts.

3.3. INCONVENIENTS DE LA TECHNIQUE

- **Amovibilité**

RICHARD BOUCHEZ considère le caractère amovible des aligneurs Invisalign® comme une arme à double tranchant car la motivation du patient est plus qu'essentielle (il doit être sérieux dans le port de ses aligneurs 22 heures par jour, bien les conserver, les changer chaque deux semaines sans se tromper, placer les accessoires tels que les élastiques intermaxillaires.) chose qui ne peut pas être tout le temps garantie, mais qui peut avoir une influence sur le bon déroulement du traitement si les gouttières sont perdues ou endommagées.

L'amovibilité empêche l'utilisation des élastiques intermaxillaires, l'ajout de boutons collés sur les surfaces vestibulaires des dents est plus qu'indispensable mais la rétention de la gouttière lors du port de ces élastiques peut être compromise.

- **Esthétique**

L'invisibilité des aligneurs peut être compromise par des bulles de salive qui s'interposent entre les dents et l'aligneur en cas de contact imparfait entre eux. De plus, dans certains cas d'infraclusion, les attaches collées sur les dents antérieures peuvent compromettre l'invisibilité de l'appareil.

- **Manque de contrôle par le praticien**

Une fois le plan de traitement validé, les praticiens jouent un rôle plus limité pendant le traitement, ils peuvent demander des rectifications lors de l'évaluation du positionnement final proposé par la compagnie Align Technology mais une fois les aligneurs fabriqués et livrés aucune réévaluation ou modifications n'est possible d'où la nécessité d'autres appareils auxiliaires tels que les appareils fixes utilisés de façon transitoire ou contacter la compagnie pour la construction de nouveaux aligneurs, ceci a été mal perçu par les praticiens qui le considère comme un échec de la technique qui nécessite un recours à la thérapie fixe multi-attaches.

De plus, la pratique de ce système nécessite une parfaite connaissance de son fonctionnement et son usage, le praticien est prié de commencer par les petites corrections telles que la fermeture des diastèmes et les encombrements légers afin de bien maîtriser cette stratégie thérapeutique et gagner plus d'expérience avant d'entamer des cas plus compliqués.

- **Cout**

Le traitement orthodontique par le système Invisalign® reste plus élevé que les autres alternatives de traitement conventionnelles.

- **Manque de recul clinique et d'études scientifiques**

III. EVALUATION DE LA TECHNIQUE INVISALIGN

Le marketing et les moyens publicitaires d'Align Technology ont joué un rôle très important dans l'évolution et la popularité du système Invisalign® en s'adressant directement aux patients, cependant le manque de recul clinique impose de futures études pour définir précisément les possibilités thérapeutiques du système.

3.4. EFFICACITE CLINIQUE ET LIMITES DE LA TECHNIQUE

Afin de déterminer les limites de la technique Invisalign® CROSBY et LEE ont établi une classification de complexité des malocclusions en 4 niveaux basés sur le nombre des gouttières nécessaires pour traiter le cas et donc de la durée du traitement. Les niveaux définis sont les suivants ⁷⁵ :

Niveau 1: 10 gouttières maximum

- Diastèmes antérieurs mineurs
- Encombrement: mouvement de linguo/vestibulo version, expansion mineure
- Légères rotations impliquant des incisives uniquement $\leq 10^\circ$
- Absence de mouvements verticaux
- Classe 1 molaire et canine
- Pas d'extraction

Niveau 2: 10 à 20 gouttières.

- Fermetures d'espaces modérés antérieurs et postérieurs
- Encombrement: mouvement de linguo/vestibulo version, expansion modérée
- Légères rotations y compris canines/prémolaires ($5-15^\circ$)
- Mouvements verticaux d'extrusion/intrusion minimales (1-2mm)
- Classe 1 molaire et canine
- Pas d'extraction

Niveau 3 : 20 à 30 gouttières

- Encombrement important.
- Rotations modérées y compris canines /Prémolaires ($\geq 15^\circ$)
- Mouvements verticaux modérés (3 à 4 mm)
- Classe I molaire et canine
- Pas d'extraction
- Redressement molaire.

Niveau 4 : + de 30 gouttières

- Classe I ou classe II (y compris bout à bout)
- Encombrement nécessitant des extractions (y compris les incisives)
- Mouvements verticaux importants (≥ 4 mm)
- Inversé d'articulé (antérieur, postérieur)
- Mouvements radiculaires importants (torque, préparation radiculaire préprothétique)

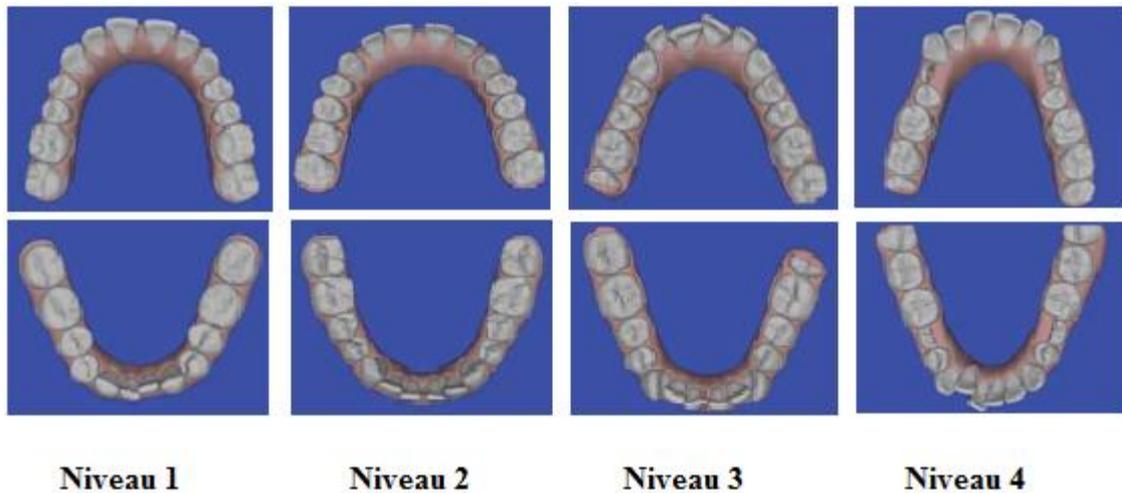


Figure 66 : La classification de Crosby et Lee.

Par conséquent, plus le niveau de difficulté augmente, plus le cas nécessitera un nombre élevé de gouttière, de temps, de raffinement et aussi d'association avec les thérapeutiques fixes conventionnelles qui atteignent des scores d'efficacité plus élevés dans la plupart des études lorsqu'elles sont comparées à Invisalign® seul sans auxiliaires ni d'élastiques.

Dans le but d'atteindre les objectifs de traitement orthodontiques, des phases de « raffinement » ou « midcourse correction » sont nécessaires dans 20% à 30% des cas selon Align Technology, tandis que les orthodontistes rapportent leur recours à des corrections pendant le traitement voire aux appareils fixes ou des gouttières de finition pour 70% à 80% de leurs cas ⁴⁶

La technique Invisalign® peut être une option de traitement efficace pour les malocclusions simples et peu compliquées comme le suggère JOFFE. Cependant, la revue de Rossini et al³⁸ nous permet de déduire certaines conclusions concernant l'efficacité de cette technique :

- Les gouttières permettent d'aligner et de niveler les arcades dentaires chez les sujets en dehors de la période de croissance.
- Les aligneurs sont efficaces pour contrôler l'intrusion antérieure mais pas l'extrusion antérieure, ce qui n'a pas été vérifié depuis Invisalign G6.
- Les aligneurs sont efficaces pour contrôler l'inclinaison vestibulo-linguale postérieure mais pas l'inclinaison vestibulo-linguale antérieure
- Ils sont efficaces dans la distalisation des molaires maxillaires (88% de prévisibilité) lorsqu'une distalisation d'au moins 1,5 mm était prescrite.
- Ils ne sont pas efficaces dans les mouvements de dérotation

D'après cette revue, l'extrusion était le mouvement le plus difficile à contrôler (30% de précision), suivie de la rotation. La quantité moyenne d'intrusion rapportée était de 0,72 mm.

III. EVALUATION DE LA TECHNIQUE INVISALIGN

Les limites de la technique dans le traitement de :

- DDM par défaut (chevauchements) :

Les cas de chevauchement sévères selon Boyd⁵³.

Encombrement mandibulaire >6mm selon Duncan⁷⁶

- DDM par excès (diastèmes) :

Les diastèmes compris entre >6mm selon Boyd⁵³

- La classe II :

Selon l'étude de Daher⁷⁸, la classe II div1 et div2 de plus de 4mm; à noter que l'auteur est financé par Align Technology, chose qui remet ces résultats en cause.

Un recul de 2.25mm maximum pour les premières molaires et de 2.52mm maximum pour les deuxièmes molaires, selon l'étude de Ravera et Castroflorio⁷⁹.

Les différences de degré d'efficacité entre les cas ont donné aux praticiens l'occasion de tirer quelques déductions sur les conditions favorables pour un bon traitement Invisalign® :

- Une activation planifiée chaque deux semaines.
- Un plan de traitement n'impliquant pas d'extraction.
- Un faible score PAR qui doit être inférieur à 15 (PEER ASSESSMENT RATING INDEX ou indice d'évaluation par pairs évaluant les modifications dans les relations inter et intra arcade lors d'un traitement orthodontique)
- La majorité des patients ont besoin d'aligneur de finition ou doivent compléter leur traitement avec un dispositif fixe conventionnel.

La complexité du cas est un critère important et déterminant dans les résultats du traitement et la fiabilité de cette technique.

IV. CONCLUSION

Après plus de 20 ans de sa création et sa commercialisation , et le nombre élevé des études et des cas cliniques publiés à son sujet , INVISALIGN® reste encore une technique mystérieuse aux yeux des orthodontistes ainsi que leurs patients malgré les réussites atteintes sur le plan thérapeutique à savoir les mouvements dentaires et la sensation douloureuse surtout que plusieurs praticiens apportent, et d'après les expériences de ces derniers on voit que ces gouttières affectent légèrement la qualité de vie des patients et que la perception de la douleur ainsi que les irritations des tissus mous sont significativement moindres , on remarque aussi qu'on peut obtenir des résultats de traitement largement satisfaisants lorsqu'il s'agit des malocclusions simples ou peu compliquées et sans extraction d'où justement la déception de certains d'autre eux qui se plaignent constamment des limitations de ce système dans les cas nécessitant des extractions ou la production du mouvement de torque , de ce fait la plupart ont conclu que la complexité de la malocclusion et le recours à l'extraction rend le pronostic plus défavorable .

Cependant, ce type de traitement nécessite une très grande coopération de la part du patient surtout que c'est à lui de changer la série de ces gouttières et c'est à lui aussi de les enlever sans la présence de son praticien, si une erreur se produit ou le temps de port n'est pas assez suffisant ceci aura une influence non négligeable sur la productibilité des mouvements et par conséquent sur la qualité de traitement.

Les auteurs affirment donc que les conclusions tirées à propos de la technique INVISALIGN® sont encore insuffisantes pour avoir une vision généralisée et correcte sur ces indications , son efficacité et ces limitations qui sont , jusqu'à présent , un sujet de controverse d'où l'importance absolue de poursuivre les études et les recherches ou , pourquoi pas, arriver à développer encore plus ce système si on veut un jour que le traitement par aligneurs prendra le dessus sur les traitements fixes multi-attaches même dans les cas les plus complexes.

V. BIBLIOGRAPHIE

1. **Remensnyder O.** Dental Massage Device, U. S. Patent 1,691,785, Nov. 13, 1928. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(71\)90099-6](https://doi.org/10.1016/0002-9416(71)90099-6)
2. **Remensnyder O.** Orthodontic appliance U.S. Patent US2479780 Aug 1949.
3. **Kesling HD.** The philosophy of the tooth positioning appliance, Am; J. Orthod.1945; 31:297-304. [https://doi.org/10.1016/0096-6347\(45\)90101-3](https://doi.org/10.1016/0096-6347(45)90101-3)
4. **Nahoum HI.** The vacuum formed dental contour appliance. *New York State Dent J*; 1964;9:385-90
5. **Ponitz RJ.** Invisible retainers. *Am J Orthod* 1971; 59: 266-272. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(71\)90099-6](https://doi.org/10.1016/0002-9416(71)90099-6)
6. **McNamara JA Jr, Kramer KL, Juenker JP.** Invisible retainers. *J Clin Orthod* 1985;19:570-8. PMID: 3862671
7. **McNamara JA Jr, Brudon WL.** Invisible retainers and aligners In : Orthodontics and Dentofacial Orthopedic, MI, Needham Press, 2001:475-486.
8. **Amoric M.** Gouttières thermoformées orthopédiques et orthodontiques. 3ème ed. Paris, SID : 2010.
9. **Sheridan JJ.** Air-rotor stripping. *J Clin Orthod.* 1985;19(1):43-59. PMID: 3882756.
10. **Sheridan JJ.** Air-rotor stripping update. *J Clin Orthod.* 1987;21(11):781-788. PMID: 3482080
11. **Sheridan JJ, Ledoux W, McMinn R.** Essix Retainers: fabrication and supervision for permanent Retention, *J Clin Orthod*, 1993, 27(1): 37-45
12. **Corbin V.** « Thérapeutique orthodontique par aligneurs, une alternative pertinente aux systèmes fixes multi-attaches ? » Thèse d'exercice, Université Paris Descartes, 2010.
13. **Kim TW, Wilhelmy B, Gaugel H.** Clear Aligner. An Alternative Orthodontic Appliance. URL: [http://www. Andersson-gaugel.](http://www.Andersson-gaugel.com)
14. <https://www.orthocaps.fr>
15. **Bouchez R.** Les traitements orthodontiques Invisalign®. Paris : quintessence international ; 2009
16. **Chaudret F.** Biomécanique des aligneurs en orthodontie [Thèse]. Paris: UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES; 2018.
17. **Glaser BJ.** The insider's guide to Invisalign treatment.
18. **Joffe L.** Invisalign: early experiences. *J Orthod.* 2003 Dec;30(4):348-52. PMID: 14634176. DOI: [10.1093/ortho/30.4.348](https://doi.org/10.1093/ortho/30.4.348)
19. **Josell SD, Siegel SM.** An Overview of Invisalign® Treatment *Mdental Continuing Education Course.* 2007
20. <http://www.invisalign.fr>
21. **Gibert A.** « Invisalign Teen : l'appareil invisible spécifique pour les ados ». Dentaly.org. Consulté le 28 mars 2020. <https://www.dentaly.org/invisalign-teen/>.
22. **Chazalon JF.** « Invisalign chez l'adolescent : une alternative au traitement multi attaches ? Illustration à l'aide d'un cas clinique », *Revue d'orthopédie dento-faciale*, 43, no 13 (2013) : 315-21.

23. **Schupp W, Haubrich J.** Les aligneurs en orthodontie : Diagnostic, biomécanique, planification et traitements. United Kingdom : Quintessence publishing, 2016.
24. **Wong BH.** Invisalign A to Z. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002 May;121(5):540-PMID: **12045774**. DOI: [10.1067/mod.2002.123036](https://doi.org/10.1067/mod.2002.123036)
25. **CELLIER PL.** Les aligneurs orthodontiques : nouvel outil thérapeutique, utilisation au cabinet et perspectives [Thèse]. Paris: UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES; 2019.
26. <http://statics.centre-orthodontie-geneve.com>
27. **Hellak A.** Approximale Schmelzreduktion und ihre Nebenwirkungen. *Quintessenz* 2012;63(12):1595-1602.
28. **Lapenaite E.** Interproximal enamel reduction as a part of orthodontic treatment. *Stomatologija* 2014;16(1):19-24. PMID: 24824056.
29. **Chudasama D, Sheridan JJ.** Guidelines for contemporary air-rotor stripping. *J Clin Orthod.* 2007 Jun;41(6):315-20. PMID: 17652864.
30. **Blank JT.** Revolutionizing interproximal enamel reduction. *Inside Dentistry*, 2010 Mar; 6 (3) Published by AEGIS Communications
31. **Womack WR** Interproximal gauge and method for determining a width of a gap between adjacent teeth *US Patent 6,413,086*, 2002
32. **Bollen AM, Huang G, King G, et coll.** Activation time and materials stiffness of sequential removable orthodontic appliances.Part1: Ability to complete treatment.*Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;124(5):496-501. PMID: **14614415**. DOI: [10.1016/s0889-5406\(03\)00576-6](https://doi.org/10.1016/s0889-5406(03)00576-6)
33. **Ruiz JL, Finger WJ, Sasazaki H et al.** Removal of Invisalign retention attachments: a new minimally invasive method. *Compend ContinEduc Dent.* 2009 Nov-Dec;30(9):634-6, 638, 640. PMID: 19998730
34. **Vlaskalic V, Boyd RL.** Orthodontic treatment of a mildly crowded malocclusion using the Invisalign System..*Aust Orthod J.* 2001 Mar;17(1):41-6. PMID: 11506169
35. **Kravitz ND, Groth C, Jones PE, Graham JW, Redmond WR.** Intraoral digital scanners. *J Clin Orthod.* 2014;48:337–47.PMID: 25083754
36. **Philibert A.** <http://ortho-fablab.com>
37. **Bräscher AC.** Patient survey on Invisalign® treatment comparen the SmartTrack® material to the previous aligner material. *J Orofac Orthop* 2016;77: 416-432. PMID: **27778051**. DOI: [10.1007/s00056-016-0051-3](https://doi.org/10.1007/s00056-016-0051-3)
38. **Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL.** Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement a systematic review. *Angle Orthod.* 2015;85(5):881–889. PMID: **25412265**. DOI: [10.2319/061614-436.1](https://doi.org/10.2319/061614-436.1)
39. **Buschang PH, Shaw SG, Ross M, Crosby D, Campbell PM.** Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces. *Angle Orthod.* 2014; 84: 391-396 .PMID: **24245817**. DOI: [10.2319/062113-466.1](https://doi.org/10.2319/062113-466.1)
40. **Li W, Wang S, Zhang Y.** The effectiveness of the Invisalign appliance in extraction cases using the ABO model grading system: a multicenter randomized controlled trial. *Int J ClinExp Med.* 2015;8:8276–8282. PMID: 26221410; PMCID: PMC4509355.
41. **Gu J, Tang JS, Skulski B, Fields HW, Jr, Beck FM, Firestone AR, et al.** Evaluation of Invisalign treatment effectiveness and efficiency compared with

- conventional fixed appliances using the Peer assessment rating index. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;151:259–266. PMID: **28153154**. DOI: [10.1016/j.ajodo.2016.06.041](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.06.041)
42. **Scheurer PA, Firestone AR, Burgin WB.** Perception of pain as a result of orthodontic treatment with fixed appliances. *Eur J Orthod* 1996;18:349-357. PMID: **8921656**. DOI: [10.1093/ejo/18.4.349](https://doi.org/10.1093/ejo/18.4.349)
 43. **Stewart FN, Kerr WJ, Taylor PJ.** Appliance wear: the patient's point of view. *Eur J Orthod* 1997;19:377-382. PMID: **9308258**. DOI: [10.1093/ejo/19.4.377](https://doi.org/10.1093/ejo/19.4.377)
 44. **Masi-Damois C.** Comparaison de la perception de la douleur entre le traitement orthodontique avec Invisalign® et le traitement avec fils et boîtiers fixes [Mémoire]. Montréal: Université de Montréal, 2015.
 45. **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.* 2018;48:326–32. doi: [10.4041/kjod.2018.48.5.326](https://doi.org/10.4041/kjod.2018.48.5.326). PMID: **30206531**
 46. **Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E et al.** How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 Jan;135(1):27-35. PMID: **19121497**.
 47. **Vlaskalic V, Boyd RL.** Clinical evolution of the Invisalign appliance. *J Calif Dent Assoc.* 2002 Oct;30(10):769-76. PMID: 12403481 DOI: [10.1016/j.ajodo.2007.05.018](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.05.018)
 48. **Djeu G, Shelton C, Maganzini A.** Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 Sep;128(3):292-8; discussion 298. PMID: **16168325**. DOI: [10.1016/j.ajodo.2005.06.002](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.06.002)
 49. **Castroflorio T, Garino F, Lazzaro A, Debernardi C,** Upper incisor root control with Invisalign appliances. *J Clin Orthod* 2013;47(6):346-51 ; quiz 387. PMID: 23863556
 50. **Kravitz ND, Kusnoto B, Agran B et al.** Influence of attachments and interproximal reduction on the accuracy of canine rotation with Invisalign. A prospective clinical study. *Angle Orthod.* 2008 Jul;78(4):682-7. PMID: **18302468**. DOI: [10.2319/0003-3219\(2008\)078\[0682:IOAAIR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2319/0003-3219(2008)078[0682:IOAAIR]2.0.CO;2)
 51. **Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C.** Treatment outcome and efficacy of an aligner technique - regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health.* 2014;14(1):68. PMID: **24923279**. PMID: [PMC4068978](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24923279/). DOI: [10.1186/1472-6831-14-68](https://doi.org/10.1186/1472-6831-14-68)
 52. **Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C.** Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2014;145:728–736. PMID: **24880843**. DOI: [10.1016/j.ajodo.2014.03.015](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2014.03.015)
 53. **Boyd RL, Miller RJ, Vlaskalic V.** The Invisalign system in adult orthodontics: mild crowding and space closure cases. *J Clin Orthod,* 2000 Apr;34(4) :203-212
 54. **Schupp W, Haubrich J, Neumann I.** Treatment of anterior open bite with the Invisalign system. *J Clin Orthod.* 2010 Aug;44(8):501-7. PMID: 21105589

55. **Giancotti A, Mampieri G, Greco M.** Correction of deep bite in adults using the Invisalign system. *J Clin Orthod.* 2008 Dec;42(12):719-26; quiz 728. PMID: 19276568
56. **Giancotti A, Pirelli P, Mampieri P.** Correction of Class II Malocclusions in Growing Patients by Using the Invisalign® Technique: Rational Bases and Treatment Staging. *Orthod Endod.* 3:12.
57. **Womack WR, Day RH.** Surgical-orthodontic treatment using the Invisalign system. *J Clin Orthod.* 2008 Apr;42(4):237-45. PMID: 18477839
58. **Marcuzzi E, Galassini G, Procopio O et al.** Surgical-Invisalign treatment of a patient with Class III malocclusion and multiple missing teeth. *J Clin Orthod.* 2010 Jun;44(6):377-84. PMID: 20929098
59. **Malik O, McMullin, Waring D.** Invisible orthodontics. Part1: Invisalign. *Dent Update* 2013;40(3):203-215. PMID: 23767109. DOI: [10.12968/denu.2013.40.3.203](https://doi.org/10.12968/denu.2013.40.3.203)
60. **Liu CL, Sun WT, Liao W, Lu WX.** Colour stabilities of three types of orthodontic clear aligners exposed to staining agents. *Int J Oral Sci* 2016;8(4):246-253. doi: [10.1038/ijos.2016.25](https://doi.org/10.1038/ijos.2016.25). PMCID: PMC5168413. PMID: [27660048](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27660048/)
61. **Taylor MG, Mc Gorry SP, Durrett S et al.** Effect of Invisalign aligners on periodontal tissues. *J Dent Res*, 2003 ; 82(a) : abstract 1483.
62. **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.* 2010 Nov;71(6):430-41. Epub 2010 Nov 17. PMID: 21082306. DOI: [10.1007/s00056-010-1040-6](https://doi.org/10.1007/s00056-010-1040-6)
63. **Miethke RR, Vogt S.** A comparison of the periodontal health of patients during treatment with the Invisalign system and with fixed orthodontic appliances. *J Orofac Orthop.* 2005 May;66(3):219-29. PMID: 15959635. DOI: [10.1007/s00056-005-0436-1](https://doi.org/10.1007/s00056-005-0436-1)
64. **Miethke RR, Brauner K.** A Comparison of the periodontal health of patients during treatment with the Invisalign system and with fixed lingual appliances. *J OrofacOrthop.* 2007 May;68(3):223-31. PMID: 17522806. DOI: [10.1007/s00056-007-0655-8](https://doi.org/10.1007/s00056-007-0655-8)
65. **Azaripour A, Weusmann J, Mahmoodi B, Peppas.** Braces versus Invisalign®: gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study. *BMC Oral Health* 2015;15:69. DOI :<https://doi.org/10.1186/s12903-015-0060-4>
66. **Naik VR, Chavan P.** Invisalign: The invisible braces . *International Journal of Contemporary Dentistry*, 2010; 1: (2)
67. **Schuster S, Eliades G, Zinelis S et al.** Structural conformation and leaching from in vitro aged and retrieved Invisalign appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 Dec;126(6):725-8. PMID: 15592222. DOI: [10.1016/j.ajodo.2004.04.021](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.04.021)
68. **Gracco A, Mazzoli A, Favoni O et al.** Short-term chemical and physical changes in invisalign appliances. *AustOrthod J.* 2009 May;25(1):34-40. PMID: 19634462
69. **Gursoy UK, Sokuco O, Uitto VJ.** The role of nickel accumulation and epithelial cell proliferation in orthodontic treatment-induced gingival overgrowth. *Eur J Orthod* 2007;29(6):555-8. PMID: 17989122. DOI: [10.1093/ejo/cjm074](https://doi.org/10.1093/ejo/cjm074)

70. **Eliades T, Pratsinis H, Athanasiou AE, Eliades G.** Cytotoxicity and Oestrogenicity of Invisalign appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136(1):100-3. PMID: 19577155. DOI: [10.1016/j.ajodo.2009.03.006](https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.03.006)
71. **Nedwed V, Miethke RR.** Motivation, acceptance and problems of Invisalign patients. *J Orofac Orthop.* 2005;66(2):162-173. PMID: 15827703. doi:10.1007/s00056-005-0429-0
72. **Iglesias-Linares A, Sonnenberg B, Solano B.** Orthodontically induced external apical root resorption in patients treated with fixed appliances vs removable aligners. *Angle Orthod* 2017;87(1):3-10. PMID: 27504821. DOI: [10.2319/02016-101.1](https://doi.org/10.2319/02016-101.1)
73. **Gay G, Ravera S, Castroflorio T.** Root resorption during orthodontic treatment with Invisalign®: a radiometric study. *Progr Orthod* 2017;18:12. PMID: 28503724. PMCID: [PMC5430001](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC5430001/). DOI: [10.1186/s40510-017-0166-0](https://doi.org/10.1186/s40510-017-0166-0)
74. **Schupp W, Haubrich J, Neumann I.** Invisalign (®) treatment of patients with craniomandibular disorders. *IntOrthod.* 2010 Sep;8(3):253-67. Epub 2010 Sep 15. PMID: 20829137. DOI: [10.1016/j.ortho.2010.07.010](https://doi.org/10.1016/j.ortho.2010.07.010)
75. **Crosby D, Lee J.** A patient-classification system for Invisalign cases. *J Clin Orthod.* 2009 Aug;43(8):502-6.
76. **Duncan L, Piedade L, Lekic M, et coll.** Changes in mandibular incisor position and arch form resulting from Invisalign correction of the crowded dentition treated nonextraction. *Angle Orthod*2016 ; 86(4):577-583. PMID: 26636248. DOI: [10.2319/042415-280.1](https://doi.org/10.2319/042415-280.1)
77. **Giancotti A, Garino F, Gianluca M.** Use of clear aligners in open bite cases : an unexpected treatment option. *J Orthod*2017 ;44(2):114-125. PMID: 28425832. DOI: [10.1080/14653125.2017.1311445](https://doi.org/10.1080/14653125.2017.1311445)
78. **Daher S.** Techniques for Class II correction with Invisalign and Elastics. <https://invisalign.com>
79. **Ravera S, Castroflorio T, Garino F, et coll.** Maxillary molar distalization with aligners in adult patients : a multicenter retrospective study. *Progr Orthod* 2016;17:12. PMID: 27041551. PMCID: [PMC4834290](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC4834290/). DOI: [10.1186/s40510-016-0126-0](https://doi.org/10.1186/s40510-016-0126-0)

RESUME

Assisté par les différentes innovations technologiques, Invisalign® offre de nombreux avantages et ouvrent les portes vers de nouvelles possibilités thérapeutiques plus confortables et aisées. Grâce à sa biomécanique simple et unique, cette technique est arrivée à traiter plusieurs cas de malpositions orthodontiques en effectuant des mouvements dentaires complexes et rassemblant un grand nombre de dents. Cependant, des inconvénients et des limites face à certaines situations cliniques exigent le retour à l'orthodontie fixe.

L'objectif de cette thèse est d'évaluer l'efficacité de ce système, en précisant ses indications, ses points forts et ses points faibles. Plusieurs résultats d'études et rapports de cas cliniques ont été présentés pour chaque mouvement accompagnés de nombreuses illustrations et figures afin de mettre le point sur la capacité de cette technique à effectuer les déplacements dentaires.

ABSTRACT

Assisted by various technological innovations, Invisalign® offers many advantages and opens the doors to new, more comfortable and easier therapeutic possibilities. Thanks to its simple and unique biomechanics, this technique has been able to treat several cases of orthodontic abnormalities by performing complex dental movements and bringing together a large number of teeth. However, drawbacks and limitations in certain clinical situations require a return to fixed orthodontics.

The objective of this thesis is to evaluate the effectiveness of this system, specifying its indications, its strengths and its weaknesses. Several study results and clinical case reports were presented for each movement along with numerous illustrations and figures to highlight the ability of this technique to perform tooth movements.