HAL open science

Biomécanique des aligneurs en orthodontie

Fatma Chaudret

To cite this version:

Fatma Chaudret. Biomécanique des aligneurs en orthodontie. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-01938617

HAL Id: dumas-01938617

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01938617v1

Submitted on 28 Nov 2018

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

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

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

MEMBRE DE
USPC
Université Sorbonne Paris Cité

AVERTISSEMENT

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.
D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 122.4

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

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

MEMBRE DE
USPC
Université Sorbonne Paris Cité

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2018 N° 046

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 04 juin 2018

Par

Fatma CHAUDRET

Biomécanique des aligneurs en orthodontie

Dirigée par Mme le Docteur Agnès Kamoun-Goldrat

JURY

Mme le Professeur Marysette Folliguet	Président
Mme le Docteur Agnès Kamoun-Goldrat	Assesseur
Mme le Docteur Elvire Le Norcy	Assesseur
M. le Docteur Jean-Claude Tavernier	Assesseur

CC BY NC ND

Tableau des enseignants de la Faculté

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MAÎTRES DE CONFÉRENCES
1. DÉVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PRÉVENTION	ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE	Mme DAVIT-BÉAL Mme VITAL	M. COURSON Mme DURSUN Mme JEGAT Mme SMAIL-FAUGERON Mme VANDERZWALM
	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE		Mme BENAHMED M. DUNGLAS Mme KAMOUN-GOLDRAT Mme LE NORCY
	PRÉVENTION, ÉPIDEMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE	Mme FOLLIGUET	Mme GERMA M. PIRNAY M. TAVERNIER
2. CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE	PARODONTOLOGIE	Mme COLOMBIER Mme GOSSET	M. BIOSSE DUPLAN M. GUEZ
	CHIRURGIE ORALE	M. MAMAN Mme RADOI	Mme EJEIL M. GAULTIER M. HADIDA M. MOREAU M. NGUYEN
	BIOLOGIE ORALE	Mme CHAUSSAIN M. GOGLY Mme SÉGUIER Mme POLIARD M. ROCHEFORT (PU associé)	M. ARRETO Mme BARDET (MCF) Mme CHARDIN Mme CHERIFI (MCU associée) M. FERRE M. LE MAY
3. RÉHABILITATION ORALE	DENTISTERIE RESTAURATRICE ENDODONTIE	Mme BOUKPESSI Mme CHEMLA	Mme BERÈS (MCU associée) Mme BESNAULT M. BONTE Mme COLLIGNON (MCU associée) M. DECUP Mme GAUCHER
	PROTHÈSES	M. POSTAIRE	M. CHEYLAN M. DAAS M. DOT M. EID Mme FOUILLOUX-PATEY Mme GORIN M. RENAULT M. RIGNON-BRET M. TIRLET M. TRAMBA Mme WULFMAN
	FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX		M. ATTAL Mme BENBELAID Mme BENOÎT A LA GUILLAUME (MCF) M. BOUTER M. CHARRIER M. CHERRUAU M. FLEITER Mme FRON CHABOUIS Mme MANGIONE (MCU associée) M. SALMON Mme TILOTTA
	PROFESSEURS ÉMÉRITES	M. BÉRENHOLC Mme BRION M. LASFARGUES M. LAUTROU M. LEVY	M. PELLAT M. PIERRISNARD M. SAFFAR Mme WOLIKOW

Mise à jour le 18 décembre 2017

Remerciements

À Mme le Professeur Marysette Folliguet

Docteur en Chirurgie dentaire

Spécialiste qualifiée en Médecine bucco-dentaire

Docteur en Sciences odontologiques

Doctorat d'État en Odontologie

Professeur des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Vice-Doyen de la Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Chef de service de l'hôpital Louis Mourier

Chevalier de l'ordre national de la légion d'honneur

Officier de l'ordre des palmes académiques

Pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ma thèse, pour m'avoir accompagnée et supportée tout le long des mes études à Louis Mourier, pour avoir toujours été une oreille attentive depuis mon premier jour à la faculté, pour tout le savoir que vous m'avez transmis, veuillez trouver ici toute ma gratitude et ma reconnaissance à l'idée de clôturer avec vous toutes ces années d'études.

À Mme le Docteur Agnès Kamoun-Goldrat

Docteur en Chirurgie dentaire

Spécialiste qualifiée en Orthopédie dento-faciale

Docteur de l'Université Paris Descartes

Maître de Conférences des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Pour m'avoir fait l'honneur de diriger mon travail de thèse, pour votre aide et votre écoute dans la réalisation de ce travail, pour votre bonne humeur et votre patience, pour tout ce que vous m'avez transmis lors de nos entretiens et qui m'aidera dans mon exercice futur, veuillez trouver ici l'expression de ma plus grande reconnaissance.

À Mme le Docteur Elvire Le Norcy

Docteur en Chirurgie dentaire

Spécialiste qualifiée en Orthopédie dento-faciale

Docteur de l'Université Paris Descartes

Maître de Conférences des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Qui me fait l'honneur de siéger dans ce jury de thèse. Veuillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements et de ma respectueuse considération.

À M. le Docteur Jean-Claude Tavernier

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Docteur en Sciences odontologiques

Maître de Conférences des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Chevalier de l'ordre national du mérite

Officier de l'ordre des palmes académiques

Pour m'avoir fait l'honneur de votre présence en acceptant de faire partie de mon jury de thèse, pour m'avoir ouvert l'esprit à l'éthique médicale tout le long de mes études, pour votre bienveillance qui m'a aidée à supporter les moments difficiles, pour votre immense gentillesse envers moi, veuillez trouver ici ma plus profonde reconnaissance.

Table des matières

INTRODUCTION 3

1 : GÉNÉRALITÉS 4

1.1 DÉFINITION 4

1.2 HISTORIQUE 4

2 : BIOMÉCANIQUE 7

2.1 GÉNÉRALITÉS 7

2.2 LES PRINCIPES DE LA MÉCANIQUE ORTHODONTIQUE 7

2.2.1 La force 7

2.2.2 Le couple de forces 7

2.2.3 Le moment de force 7

2.2.4 Le centre de résistance 8

2.2.5 Le centre de rotation 9

2.2.6 La notion d'ancrage 10

2.3 LES DIFFÉRENTS TYPES DE DÉPLACEMENT DENTAIRE 11

2.3.1 La version 11

2.3.2 La translation 11

2.3.3 L'égression et l'ingression 12

2.3.4 La rotation 12

2.3.5 Le mouvement de torque 13

2.4 LA BIOMÉCANIQUE DES ALIGNEURS 13

2.4.1 Le système Essix® 14

2.4.2 Le système CA® Clear-Aligner 24

2.4.3 L'Align technology (Invisalign®) 39

2.4.4 Le système OrthoCAPS (TwinAligner®) 49

3 : CAS CLINIQUES 55

3.1 PRÉSENTATION 55

3.2 PHOTOS EXOBUCCALES 55

3.3 PHOTOS ENDOBUCCALES 56

3.4 EXAMENS RADIOLOGIQUES ET ÉTUDE CÉPHALOMÉTRIQUE 56

3.5 DIAGNOSTIC 57

3.6 OBJECTIFS DU TRAITEMENT 58

3.7 PLAN DE TRAITEMENT **58**

3.8 CLINCHECK® **58**

3.9 LA CHARTE DE STRIPPING ET DES ATTACHEMENTS **59**

3.10 RÉSULTATS **59**

CONCLUSION 61

BIBLIOGRAPHIE 62

TABLE DES FIGURES 64

Introduction

Nous assistons, depuis plusieurs années, à une démocratisation des traitements orthodontiques chez l'adulte. Cette tendance entraîne un attrait grandissant pour les traitements esthétiques, en particulier les traitements par les aligneurs.

L'essor de cette technique n'est pas dû seulement au rendu esthétique mais elle offre également au patient plus de confort et de meilleures conditions pour assurer une hygiène orale optimale.

Cependant, les aligneurs ont été critiqués d'emblée par de nombreux praticiens qui leur reprochent de produire des mouvements dentaires limités, des effets parasites difficiles à contrôler et de ne pas être adaptés à tous les cas cliniques.

Après un rappel des lois biomécaniques, nous exposerons, les apports biomécaniques de quatre systèmes d'aligneurs différents :

- Essix®
- CA® Clear aligner
- Invisalign®
- Orthocaps®

A travers un cas clinique traité par le système Invisalign®, nous rappellerons aussi que cette technique n'est pas un choix de facilité, car, pendant sa réflexion, tout praticien se doit de respecter une chronologie imposée par sa formation scientifique : observation clinique, diagnostic, objectifs de traitement et plan de traitement.

1 : Généralités

1.1 Définition

L'aligneur est une gouttière transparente fabriquée à partir d'une feuille de plastique thermoformable qui, chimiquement parlant, est un polymère (polypropylène, polyéthylène, polyuréthane, …). Ce dispositif, à visée orthodontique, permet de déplacer les dents par des mouvements dento-alvéolaires.

1.2 Historique [1] [2]

En 1923, Orrin Remensnyder développe un dispositif dentaire pour exercer une pression et masser la gencive marginale (gum-massaging appliance) en vue de traiter la pyorrhée alvéolo-dentaire. Il le nomme le Flex-o-tite [3].

Cependant, il remarque des déplacements dentaires mineurs secondaires causés par ce dispositif. En 1949, il développe l'Orthodontic Appliance, un dispositif monobloc en caoutchouc à visée orthodontique [4].

Harold Kesling, précurseur dans ce domaine, a proposé en 1945 le premier aligneur dentaire, nommé « tooth positioning appliance ». Cet appareil monobloc souple, en gomme d'ébonite, était destiné aux finitions des traitements orthodontiques avec des multiattaches, profitant ainsi de la malléabilité parodontale résiduelle. Ainsi, après le débagage, des empreintes sont prises sur le patient et deux modèles en plâtre dur sont coulés. Le premier moulage sert de modèle de contrôle tandis que le second est utilisé comme set-up. Sur ce dernier, les dents mal positionnées sont sciées individuellement puis repositionnées dans la posture recherchée. C'est au cours de cette étape que le positionneur est confectionné. Par ailleurs, ce dispositif peut aussi servir de moyen de contention amovible. Même si Kesling se limita, à l'époque, à la correction de malpositions mineures, il émet toutefois l'idée de réaliser une série de positionneurs afin d'effectuer des mouvements dentaires de plus grande amplitude.

En 1964, Nahoum met au point la première gouttière thermoformée par aspiration. Afin de mettre au point cet appareil, différents plastiques thermoformables (acétate, polyéthylène, butyrate…) furent testés.

---

[1] Philippe, *Histoire de l'orthodontie*.
[2] Ponitz, « Invisible retainers ».
[3] Remensnyder, Dental massage device.
[4] Remensnyder, Orthodontic appliance.

En orthodontie, cette gouttière a été utilisée pour la fermeture des espaces antérieurs (de canine à canine) et pour la correction des rotations mineures. Pour cela, la technique de set-up présentée ci-dessus a été principalement utilisée. Nahoum a élargi la fonction de ce dispositif pour le support des forces extra-orales et des élastiques intermaxillaires.

L'utilité de ce dispositif a aussi été étendu à plusieurs autres disciplines dentaires :

- En chirurgie pour limiter l'hémorragie post-opératoire.
- En parodontie afin de servir d'attelle provisoire pendant le traitement parodontal jusqu'à la pose d'une attelle définitive.
- En prothèse comme moule pour confectionner des couronnes provisoires.

Mac Namara, en 1985, introduit la première gouttière thermoformée par pression à visée orthodontique (système Biostar ®). Il s'est inspiré des travaux de Ponitz, qui a mis au point l' « invisible retainer » en 1971 pour la contention, et a élargi ses indications aux repositionnements mineurs des dents. Comme ses prédécesseurs, Mac Namara a utilisé la technique de set-up pour la confection de son aligneur. Cependant, son approche thérapeutique est différente puisqu'il préconise le déplacement d'une seule dent par quadrant.

Figure 1 : Une gouttière Biostar ® de contention

Source : Labolionet, « Appareils thermoformés », 2018

En 1995, Sheridan développe le système ESSIX® basé sur les mêmes principes que ceux de Kesling. Cependant, il innove en ajoutant sur son aligneur :

- Des ergots (devots), en regard des dents à déplacer, en déformant la gouttière grâce à un outil à emboutir (pince de Hillard) ou en mettant un composite sur la dent, le but étant d'exercer une pression sur la dent.
- Des fenêtres (windows) en utilisant une fraise dans le but de créer un espace dans lequel la dent peut se déplacer.

Ainsi une série de gouttières sont proposées aux patients. Elles permettent d'effectuer des mouvements dentaires plus importants. Néanmoins, à chaque étape du traitement, une empreinte est

nécessaire pour confectionner un nouveau set-up et, ainsi, une nouvelle gouttière qui sera modifiée par le praticien selon le plan de traitement [5].

La société Dentsply GAC® a repris ce concept pour développer le système Ideal Smile®.

En 1997, deux étudiants en MBA, deux orthodontistes et un ingénieur en informatique, créent la compagnie Align Technology Inc. Le système Invisalign® développé ainsi, découle de l'utilisation conjointe de deux techniques [6] :

- Le CAD-CAM (computer-aided design and computer-aided manufacturing) qui permet la numérisation par tomographie des empreintes (prise une seule fois avant le début du traitement) afin d'obtenir un set-up en 3D et ainsi prévisualiser virtuellement la totalité du traitement étape par étape.
- La stéréolithographie (imprimante 3D) de résine liquide à visée industrielle qui permet la fabrication, par la conception assistée par ordinateur, d'une série d'aligneurs à partir de leurs images 3D.

En 1998, Kim met au point le système Clear Aligner® qui s'appuie sur l'utilisation de trois gouttières successives par étape de traitement. Les gouttières sont thermoformées sur le même set-up et réalisée à partir de 3 feuilles de polyuréthane DURAN® d'épaisseur croissante (0.5 mm, 0.625 mm et 0.75 mm). Dans chaque étape, le déplacement maximal effectué est d'un millimètre [7].

En 2006, Wajeek Khan développe le système Orthocaps® qui est actuellement considéré comme le concurrent direct du système Invisalign®. Ce système reprend le concept de set-up virtuel et de conception et confection assistées par ordinateur. Néanmoins il se différencie par [8] :

- L'utilisation d'un jeu de 2 gouttières par étape de traitement, une première gouttière rigide (hardCAPS) portée pendant la journée ainsi qu'une deuxième plus souple (softCAPS) portée pendant la nuit. On appelle cette approche le système Twin Aligner®.
- La durée du port de chaque série de gouttière est de trois semaines au lieu de deux pour Invisalign®.
- Egalement les aligneurs ne sont pas tous fournis dès le début, des empreintes doivent être reprises et/ou une réévaluation faites tous les 6 mois.

[5] Anbuselvan et al., « Essix appliance revisited ».
[6] Wong, « Invisalign A to Z ».
[7] Kim, « Clear aligner : an alternative orthodontic appliance ».
[8] Khouri, « Erwachsenenbehandlung mit dem Twin Aligner-System ».

2 : Biomécanique

2.1 Généralités

La très grande majorité des plans de traitement d'Orthodontie Dento-Faciale (ODF) sont mis à exécution à l'aide d'appareillages développant leur système de force au contact des dents. Les effets du traitement produisent donc une réaction dentaire, dite orthodontique, et une réaction des bases osseuses des mâchoires, dite orthopédique, cette dernière n'étant possible que sur des patients encore en croissance. L'effet initial de l'action mécanique induite par l'appareil utilisé a donc une influence primordiale sur la suite du traitement. Il est donc nécessaire que le praticien connaisse parfaitement cette action.

2.2 Les principes de la mécanique orthodontique

2.2.1 La force [9]

La force est une grandeur de type vectoriel. Elle se caractérise par cinq éléments : L'intensité, le sens, la direction, le point d'application et le rythme d'application (les forces peuvent être continues, discontinues ou intermittentes, ce qui influencera la qualité histologique de la réponse).

2.2.2 Le couple de forces [10]

Le concept de couple a pour origine l'irréductibilité d'un ensemble de deux forces parallèles, de même intensité, de sens contraires mais de points d'application différents. Le couple va provoquer la rotation du solide sur lequel il est appliqué. Par ailleurs, pour en calculer les effets, nous n'avons pas à connaître son point d'application.

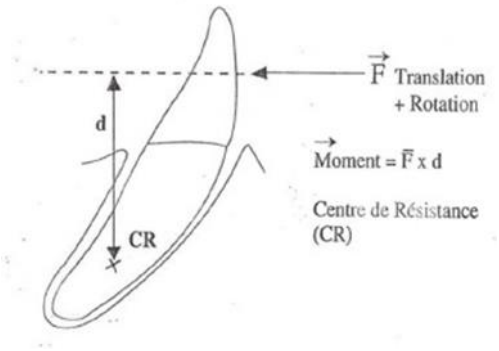
L'intensité du couple se mesure par son moment, soit le produit de l'intensité de l'une des forces par leur distance. Force et couple sont, au niveau de la mécanique, deux aspects d'un même « être mathématique » appelé torseur.

2.2.3 Le moment de force [11]

La valeur chiffrée du moment d'une force (M) exercée sur une dent est égale au produit de la force (F) par la distance séparant le centre de résistance au point d'application de la force : $M = F \times D$

[9] Bonnefont et Guyomard, « Rappel des notions de mécaniques utilisables en orthopédie dento-faciale ».
[10] Faure, *Biomécanique orthodontique*.
[11] Ibid.

Figure 2 : Moment de force



Source : Alègre, *Évolution des différentes techniques de correction de la mésioversion de la canine du Shetland*, 2008

Une dent peut subir l'action d'une ou plusieurs forces. Les forces multiples se combinent de telle sorte qu'elles agissent comme une force unique, appelée résultante des forces. Quand une force (ou une résultante) est appliquée sur une dent, deux éventualités peuvent se présenter :

- Le prolongement de la force passe par le centre de résistance, dans ce cas, le moment est nul et la dent se déplace en un mouvement unique dans le sens de la force (mouvement de translation ou d'ingression ou encore d'égression).
- Le prolongement de la force ne passe pas par le centre de résistance ; dans ces conditions, la valeur du moment est différente de zéro. Le mouvement n'est plus unique, mais double ; la dent se déplace à la fois en tournant sur elle-même et dans son ensemble par rapport à un repère pris à distance. Le moment est responsable de ce mouvement rotatif.

2.2.4 Le centre de résistance [12]

En ODF, on rencontre le plus souvent le terme impropre de centre de résistance de la dent. La dent ne résiste pas au déplacement, elle ne fait que transmettre les forces. C'est l'environnement osseux et desmodontal qui résiste. Il serait donc plus juste de le nommer centre de résistance associé à la dent. Classiquement, le centre de résistance associé à une dent est défini comme étant le point par lequel il est nécessaire de faire passer la force pour que le mouvement obtenu soit une translation. Cette définition est cependant incomplète car elle ne caractérise le centre de résistance que par une force extérieure. Or cette caractérisation doit faire appel à la dent et son environnement. Le centre de résistance est assimilable à ce que l'on nomme en mathématique un barycentre. C'est le centre de force dans un champ de force.

[12] Ibid.

Dans le champ de pesanteur, ce centre de force est le centre de masse ou centre de gravité. Une autre définition, souvent plus facile à comprendre, dit que ce centre de résistance correspond au point du corps (dent) où une force unique produirait une translation, c'est-à-dire que tous les points se déplaceraient selon des lignes droites, parallèles. Le centre de résistance est un point fixe pour une situation donnée, à un moment précis. Sa position dépend de la surface radiculaire, de la hauteur de l'os alvéolaire et de la nature de l'os alvéolaire.

Approximativement, pour une dent au parodonte intact, ce centre de résistance se situe :

- Pour une dent monoradiculée : entre le milieu et le tiers apical de la racine.
- Pour une dent pluriradiculée : dans la zone de furcation.

2.2.5 Le centre de rotation [13]

C'est le point autour duquel la dent effectue un mouvement circulaire. Contrairement au centre de résistance, le centre de rotation est un point qui est défini en fonction du système de force utilisé. C'est un point variable que le praticien peut choisir, il est déterminé par les besoins du plan de traitement. Ce centre de rotation peut donc se situer à des niveaux très variables :

- Au-delà de l'apex.
- Entre l'apex et le bord libre.
- Au-delà du bord libre de la dent.

La situation du centre de rotation est directement liée au rapport moment/force et détermine le type de mouvement que l'on va obtenir :

- Lorsque le rapport moment/force est nul, le centre de rotation se situe à l'infini par rapport au centre de résistance et la dent effectue un mouvement de translation pure.
- Lorsque le rapport moment/force tend vers l'infini, le centre de rotation se situe au niveau du centre de résistance, la dent réalise alors un mouvement de rotation pure autour du centre de résistance.
- Lorsque le rapport moment/force se situe entre ces deux extrêmes, on obtient un mouvement combiné de rotation et translation de la dent.

[13] Bonnefont et Guyomard, « Rappel des notions de mécaniques utilisables en orthopédie dento-faciale ».

2.2.6 La notion d'ancrage

2.2.6.1 Définition [14]

En biomécanique orthodontique, l'ancrage est la résistance d'un corps au déplacement. L'action engendre la réaction. Lorsqu'un corps se déplace, il est habituel de dire que les forces motrices l'emportent sur les forces résistantes.

2.2.6.2 Trinôme de Nèvrezé [15]

En orthodontie, les forces de résistance sont de deux ordres :

- La résistance stabile : C'est à dire le point d'ancrage de la force.
- La résistance mobile : point d'application et de résistance de la dent à déplacer.

Dans l'exemple des forces extra-orales, la résistance stabile est constituée par l'appui péri-crânien, et la résistance mobile par les dents ou les arcades à distaler.

Nèvrezé désigne par :

- RM : résistance mobile ; résistance de l'élément à déplacer.
- RS : résistance stabile ; résistance de l'ancrage.
- FM : force motrice.

Selon le trinôme de Nèvrezé trois cas sont possibles :

- La résistance stabile est égale à la résistance mobile (RS=RM)
    - Si FM<RS+RM, il n'y a pas de déplacement.
    - Si FM>RS+RM, le déplacement est égal et symétrique.
- La résistance stabile est plus grande que la résistance motrice (RS > RM)
    - Si FM>RS>RM, le déplacement est double et inégal car la RM se déplace davantage que la RS.
    - Si RS>FM>RM, le déplacement désiré est obtenu.
- La résistance stabile est plus petite que la résistance motrice (RS < RM)
    - Si RM>RS>FM, il n'y a aucun déplacement.
    - Si RM>FM>RS, la RS se déplace (la dent d'ancrage se déplace) **.**

[14] Langlade, *Thérapeutique orthodontique*.
[15] Nabbout et al., « L'ancrage dentaire en orthodontie : les données du scanner ».

2.3 Les différents types de déplacement dentaire [16] [17]

Grâce à une maîtrise des principes de la biomécanique, l'orthodontiste peut effectuer différents types de déplacement : la version, l'égression, la rotation, le torque, la translation et l'ingression.

2.3.1 La version

C'est le mouvement le plus simple à obtenir, appelé « tipping » dans la littérature anglo-américaine. Ce mouvement nécessite l'application d'une force en un point de la couronne en direction mésiale, distale, vestibulaire ou linguale, la racine et la couronne se déplacent simultanément, mais en sens inverse. Le mouvement final est un mouvement de bascule autour de l'axe de rotation ou hypomochlion.

Figure 3 : Mouvement de version

Source : Lemay, Déplacements des dents en orthodontie, 2018

2.3.2 La translation

C'est le déplacement de la dent parallèlement à son grand axe. C'est ce que les anglo-saxons nomment le « bodily movement ». Ce déplacement nécessite l'application, d'un système de forces au niveau de la couronne, dont la résultante passe pars le centre de résistance.

[16] Bonnefont et Guyomard, « Rappel des notions de mécaniques utilisables en orthopédie dento-faciale ».
[17] Langlade, *Thérapeutique orthodontique*.

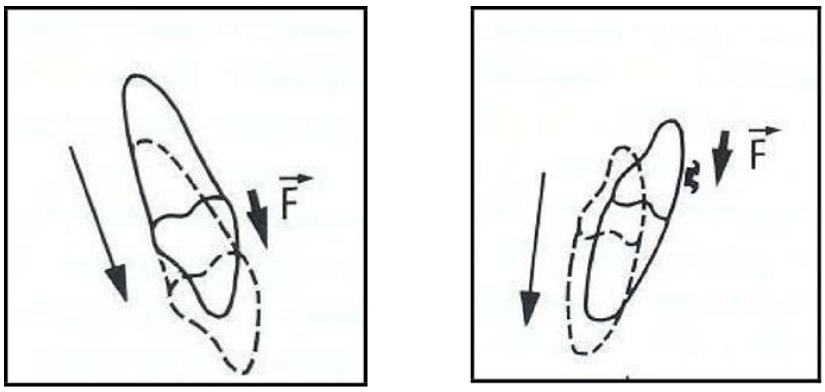
Figure 4 : Mouvement de translation

Source : Lemay, Déplacements des dents en orthodontie, 2018

2.3.3 L'égression et l'ingression

- L'égression : C'est un mouvement physiologique qui se fait spontanément au niveau des dents sans antagonistes. Il se fait tout le long de l'axe de la dent, tendant à sortir de son alvéole.
- L'ingression : C'est un mouvement qui tend à enfoncer la dent dans l'alvéole, il nécessite une force axiale de direction apicale. Il peut être à l'origine de résorptions osseuses et radiculaires surtout au niveau des incisives latérales supérieures.

Figure 5 : Le mouvement d'égression et le mouvement d'ingression



Source : Langlade, *Thérapeutique orthodontique*, 1986

2.3.4 La rotation

C'est un mouvement de la dent autour de son axe (rotation axiale) ou autour d'un axe parallèle à son grand axe (rotation marginale). Ce mouvement nécessite un couple de forces appliqué sur la couronne et dans un plan perpendiculaire au grand axe de la dent. Pour ce mouvement, il faudra tenir compte :

- Du facteur anatomique : c'est-à-dire de la position, de la forme et de la taille de la dent.
- De la contention de ce type de déplacement ; ce mouvement est sujet aux récidives.

2.3.5 Le mouvement de torque

C'est une rotation dans le sens vestibulo-lingual autour d'un axe mésio-distal passant par un point de la dent ; ce mouvement nécessite l'application, en un point de la couronne, d'un couple de forces situé dans un plan passant par l'axe de la dent et perpendiculaire à la face vestibulaire.
Au cours de ce mouvement de torque, il se produit un stress plus important au niveau de l'apex qu'à la crête alvéolaire : les conséquences peuvent se traduire par une résorption radiculaire.

Figure 6 : Mouvement de torque

Source : Lemay, Déplacements des dents en orthodontie, 2018

2.4 La biomécanique des aligneurs

Un aligneur est capable d'engendrer un mouvement dentaire et cela grâce à deux approches différentes :

- L'approche dite des déplacements dirigés
- L'approche dite des forces dirigées

Dans la première approche, l'aligneur est conçu selon l'emplacement de la dent après le mouvement désiré. Ainsi, à partir de l'instant de pose de l'aligneur, la dent se déplace graduellement jusqu'à atteindre la position imprimée dans l'aligneur.
Dans la seconde approche, l'aligneur est conçu de sorte à émettre une force pure ou un système de forces spécifiques dans le but de déplacer une dent ou un bloc dentaire. Des logiciels, permettant d'ajouter des auxiliaires à l'aligneur afin d'augmenter l'efficacité du déplacement dentaire et contrôler les mouvements, peuvent être utilisés.
Dans la suite de ce travail, nous détaillerons le fonctionnement de ces auxiliaires tout en décrivant leurs conséquences biomécaniques.

La majorité des systèmes d'aligneurs combinent les deux approches mais de façon différente.

2.4.1 Le système Essix®

2.4.1.1 Présentation du système [18] [19]

Essix® est un système biomécanique impliquant l'utilisation d'un appareil en plastique amovible, durable et pratiquement invisible. Le clinicien modifie constamment l'appareil Essix® pour atteindre les objectifs de traitement et, le cas échéant, pour corriger un mouvement en cours. Le mouvement des dents est possible dans tous les plans de l'espace. Le système Essix® est peu coûteux car il n'implique la fabrication que d'un ou deux appareils que l'on peut de surcroît fabriquer au cabinet. En revanche, c'est une méthode chronophage pour le praticien.

La réalisation de l'aligneur débute par la prise d'empreinte avec des silicones en technique du double mélange (wash technique). Les modèles sont coulés puis les gouttières sont fabriquées à l'aide d'un thermoformage sous vide d'une feuille plastique de la famille des copolyesters qui présentent des propriétés de rigidité, transparence, résistance à l'abrasion supérieures à celles des feuilles d'acryliques. 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).

Le déplacement dentaire se base sur la création de l'espace et l'application de forces.

2.4.1.1.1 Création de l'espace

On distingue l'espace que l'on peut créer au sein de l'appareil (grâce à des adaptations), de celui à créer à l'intérieur de l'arcade.

- Création de l'espace intra-arcade

Pour créer de la place intra-arcade, le praticien a le choix entre l'expansion, les extractions ou la réduction interproximale (RIP).

Les extractions ne représentent pas l'option de choix avec les gouttières : difficulté de redresser les axes, de fermer les espaces.

L'expansion avec les gouttières, est possible mais la coordination des arcades devient difficile, de plus il n'existe pratiquement pas de potentiel de croissance dans la population adulte.

Devant les complexités associées à l'extraction ou à l'expansion, la RIP se présente comme la solution de choix pour la création d'espace.

---

[18] Raintree Essix Publication, *Essix® appliance technology update : a scientific journal on the fabrication, alteration & retention*.

[19] Anbuselvan et al., « Essix appliance revisited ».

Il est préférable d'utiliser des fraises fines sur turbine, c'est l'« Air Rotor Stripping » (ARS) communément appelé « stripping », car les bandes abrasives manuelles sont trop laborieuses, et les disques montés sur une pièce à main peuvent être dangereux pour la langue et les joues.

Le site interproximal peut être ouvert pour l'ARS à l'aide de ressorts à bobines ou de séparateurs, avant réduction interproximale. Cela améliorera considérablement l'accès visuel et mécanique au site.

Plusieurs études[20] indiquent que cet « Air Rotor Stripping » n'induit pas de réponse pathologique des tissus durs et mous. La recommandation « conservatrice » serait de ne pas stripper plus de 0,75 mm d'émail interproximal par point de contact antérieur et pas plus de 1 mm par point de contact postérieur (0,5 mm par surface proximale). Les surfaces proximales sont finies à l'aide de fraises fines et extra-fines.

Il est prescrit au patient un bain de bouche ou un gel fluoré, pour augmenter le potentiel de reminéralisation.

Le système « Ortho Strips » est une autre méthode proposée pour réduire l'émail interproximal avec une pièce à main mais sans fraise rotative. L'instrument élimine l'émail avec un mouvement d'oscillation de 0,8 mm.

Cette technique utilise des bandes métalliques avec des granulés abrasifs de 15 à 90 microns pour réduire les surfaces proximales. Les lames flexibles (Proxyshape) sont également disponibles pour lisser la surface proximale réduite avec des granulés abrasifs de 15 à 125 microns.

- Création de l'espace dans l'appareil :

Sur le modèle en plâtre, au niveau de la ou les dents dont on souhaite un déplacement, on colle de la résine photopolymérisable ou du Blockout Compound. Cela créera un espace dans l'aligneur thermoformé, vers lequel la dent peut se déplacer.

Une deuxième méthode consiste à couper une fenêtre dans l'appareil thermoformé avec une fraise montée sur une pièce à main à vitesse lente.

La bordure effilochée de la fenêtre peut être lissée avec un scalpel. La fenêtre doit être de taille adéquate (même plus grande) pour permettre un mouvement des dents sans entraves. Cependant, une bordure gingivale de 2 à 3 mm est nécessaire pour une résistance et une résilience suffisantes à l'appareil.

2.4.1.1.2 Création de la force

Avec le système Essix® le praticien a la possibilité d'appliquer la force sur n'importe quelle zone de la surface dentaire.

Il existe deux méthodes pour créer une force :

[20] Ibid.

- Utilisation des pinces Hilliard

Les pinces de Hilliard « Hilliard thermopliers » altèrent l'appareil en créant des bosses capables de générer des forces qui peuvent déplacer les dents dans les trois plans d'espace et peuvent déplacer plusieurs dents adjacentes dans des directions différentes en même temps. Elles permettent l'utilisation d'un aligneur pendant 3 mois avec un déplacement de 1 mm par mois.

Figure 7 : Différentes pinces Hillard

Source : Orthocare, Hilliard Thermopliers, 2018

Les pinces peuvent aussi créer des raies de morsure, serrer un appareil Essix pour un meilleur ajustement et créer des crochets de fixation pour les élastiques de classe II ou III.
La bosse (appelée aussi ergot), créée par la pince, est toujours faite vers une surface dentaire. Les pinces doivent être chauffées à la température correcte en fonction du plastique utilisé. Pour les plastiques Essix Embrace et Essix A+, les pinces doivent être chauffés à 175°F / 70.4°C et pour Essix C+, la température est de 200°F / 93.3°C.

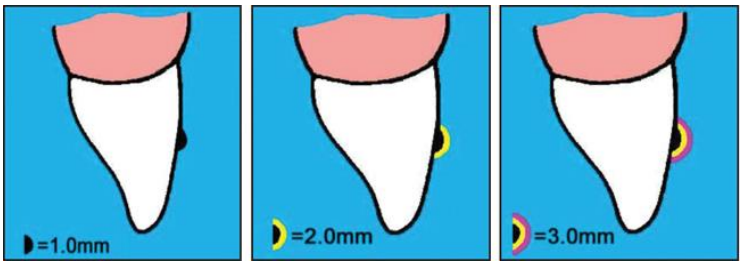
Lorsque la pince atteint la température optimale, le praticien serre doucement les poignées de la pince pour créer la bosse dans le plastique. La mesure de la température de la pointe de la pince avant le thermoformage est nécessaire. Un thermomètre numérique HAKKO est utilisé pour mesurer la température de la pointe en degré Fahrenheit ou degré centigrade.

ThermoAire est un appareil qui permet au clinicien de diriger un petit jet d'air chauffé précisément contrôlé sur la surface pour donner une forme précise à l'aligneur. La pression et la température de l'air sont entièrement réglables.

- Le « mounding »

C'est la création de bosses, par ajout de résine composite sur la dent. On peut aussi le définir comme le processus d'induire la force en plaçant le composite sur la surface de la dent. Une petite épaisseur de composite est placée sur la surface d'émail de la dent à déplacer.

Figure 8 : Couches de composite ajoutées pour un mouvement séquentiel des dents



Source : Sheridan et al, « Tooth movement with Essix mounding », 2004

La hauteur de la résine peut être mesurée avec un pied à coulisse Boley. L'appareil Essix® est inséré. Lors des visites ultérieures, des couches composites de 1 mm peuvent être ajoutées au monticule original pour créer une force supplémentaire et donc un mouvement dentaire supplémentaire. Si le patient ressent une pression sur la cible, la force est suffisante. Si le patient ne ressent aucune pression, le praticien doit placer une légère quantité supplémentaire de composite. Si la force est si grande qu'il est difficile d'insérer l'appareil, le praticien doit diminuer la hauteur du monticule composite avec un disque de papier de verre.

Ces deux méthodes de création de force peuvent être utilisées indépendamment ou conjointement.

2.4.1.2 Considérations biomécaniques

2.4.1.2.1 Le mouvement de translation

Dans la suite de cette partie, nous considèrerons la dent à déplacer et les deux dents adjacentes comme un seul et même bloc.

Lors de la première séance le praticien place deux petits anneaux élastomériques de type « O » de part et d'autre du bloc. Cette approche permettra d'obtenir un accès visuel lors de la réduction interproximale.

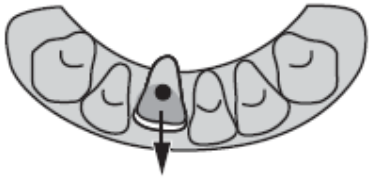
Cinq jours plus tard, la création d'espace est effectuée en mésial et en distal du bloc avec un stripping. Par ailleurs, à cette même séance, deux anneaux élastomériques de plus grande taille, type S2, sont placés de part et d'autre de la dent cible pour déplacer les dents adjacentes dans l'espace créé.

Lors de la troisième séance, cinq jours plus tard, un stripping est effectué en mésial et distal de la dent cible. A cette séance le praticien fabrique une gouttière Essix® intégrant à la fois :

- Une fenêtre permettant le déplacement de la dent.
- Un ergot de 1 mm avec la pince Hillard adaptée.

Notons bien que la précision du mouvement incombe au praticien. En effet, le mouvement de translation est difficile à obtenir. L'ergot doit être le plus proche possible du centre de résistance de la dent, afin de diminuer les mouvements parasites de version [21].

Figure 9 : Mouvement de translation

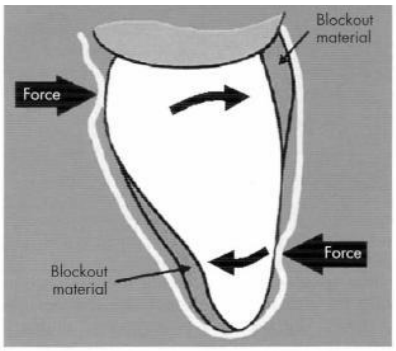


Source : Raintree Essix Publication, *Essix® appliance technology update : a scientific journal on the fabrication, alteration & retention*, 2003

2.4.1.2.2 Le mouvement de torque

Le couple induit par Essix® est plus efficace que le système conventionnel en multiattaches car la distance entre les moments peut être équivalente à la longueur de la couronne clinique. Grace à une pince Hilliard ou une épaisseur de composite, deux forces sont appliquées simultanément en vestibulaire et en lingual de la dent cible. En outre, le clinicien place un matériau de blocage sur le moulage pour permettre le mouvement des dents. Par exemple, pour un mouvement de torque radiculo-vestibulaire, le clinicien prépare le modèle de travail en plaçant un ergot ou une épaisseur de composite sur le tiers incisif de la surface vestibulaire et sur le tiers gingival de la surface linguale.

Figure 10 : Mouvement de torque radiculo-vestibulaire



Source : Anbuselvan, « Essix appliance revisited », 2012

[21] Raintree Essix Publication, *Essix® appliance technology update : a scientific journal on the fabrication, alteration & retention*.

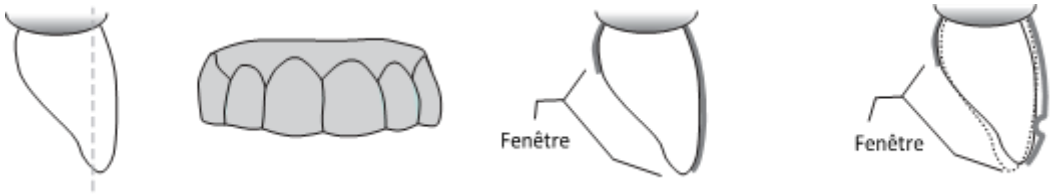
Si le but est d'obtenir un mouvement de racine pur, le bord incisif de la dent cible sera recouvert de plastique sur une hauteur de 2 mm et donc immobilisé. Ce capuchon en plastique maintiendra le bord incisif en place pendant que le mouvement de torque de la racine s'exprimera [22] [23].

2.4.1.2.3 Le mouvement de version

Un aligneur est fabriqué sur la base du modèle original. On le modifie ensuite afin d'obtenir les mouvements désirés [24] :

- On crée un point de pression entre le centre de résistance de la dent et la limite occlusale. Plus ce point d'application des forces est placé loin du centre de résistance, plus l'effet de version est marqué.
- On ajoute une fenêtre afin de permettre le mouvement de la limite occlusale ou incisive. L'aligneur doit bloquer la dent au niveau gingival évitant ainsi tout mouvement parasite.

Figure 11 : Le mouvement de version



Source : Raintree Essix Publication, *Essix® appliance technology update : a scientific journal on the fabrication, alteration & retention*, 2003

2.4.1.2.4 Le mouvement d'intrusion [25]

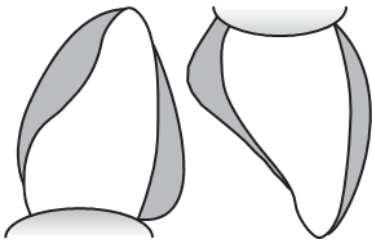
- Pour les dents antérieures (incisives et canines) :

Initialement, sur le modèle de travail en plâtre, le praticien commence par ajouter de la résine acrylique « Triad® gel » sur la dent cible. Ceci permettra d'éviter les mouvements parasites ainsi que les interférences avec les dents opposées. Par ailleurs, cette démarche permettra de protéger la gencive marginale.

[22] Anbuselvan et al., « Essix appliance revisited ».
[23] Sheridan et al., « Tooth movement with Essix mounding ».
[24] Raintree Essix Publication, *Essix® appliance technology update : a scientific journal on the fabrication, alteration & retention*.
[25] Armbruster, Sheridan, et Nguyen, « An Essix intrusion appliance ».

Selon la position de la dent, différentes approches seront envisagées. Pour une dent maxillaire, sur la totalité de la face vestibulaire, on ajoute de la résine à laquelle on donne une forme arrondie. Sur les deux tiers de la face palatine, on ajoute une couche de résine piriforme. Au contraire, pour une dent mandibulaire, sur la totalité de la face linguale, on ajoute de la résine à laquelle on donne une forme arrondie. De même, sur les deux tiers de la face vestibulaire, on ajoute une couche de résine piriforme.

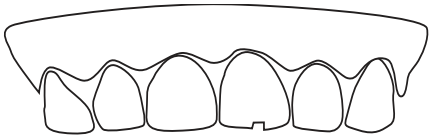
Figure 12 : La forme de la résine (en gris) pour les dents mandibulaires et maxillaires



Source : Raintree Essix Publication, *Essix® appliance technology update : a scientific journal on the fabrication, alteration & retention*, 2003

Lors de la même séance, la pince « Micro-ramp Thermoplier » #82560 est utilisée pour réaliser une encoche de 1 à 2 mm sur le bord incisif de la dent cible afin de créer une force intrusive. Enfin, L'aligneur peut être fabriqué.

Figure 13 : Une encoche de 1 à 2 mm sur le bord incisif créant une force intrusive



Source : Raintree Essix Publication, *Essix® appliance technology update : a scientific journal on the fabrication, alteration & retention*, 2003

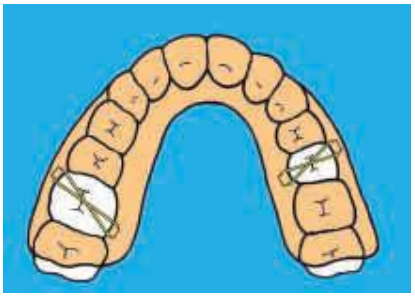
A la séance suivante, une fenêtre est découpée en lingual de la gouttière. Ainsi, si nécessaire, une pince pourra être insérée afin d'accentuer la force intrusive.

Ce procédé donne de bons résultats pour une ou deux dents mais, au-delà, un problème de rétention de l'aligneur peut apparaître. L'introduction de systèmes de rétention au niveau des dents postérieures pourrait permettre de palier à ce problème.

- Pour les dents postérieures (prémolaires et molaires) [26]

Une gouttière est fabriquée avec des extensions gingivales en vestibulaire et en lingual pour donner un support aux attachements pour les élastiques. Ces supports peuvent être des crochets découpés dans le plastique ou des boutons insérés avec une pince Hillard. Le praticien doit découper une fenêtre occlusale en regard de la dent à ingresser. L'élastique sera placé de vestibulaire en lingual, sur la face occlusale de la dent, en retournant l'élastique sur lui-même pour faire apparaître un « X ». Le patient devra changer l'élastique toutes les 24 heures.

Figure 14 : Des élastiques pour l'intrusion de la 16 et de la 25

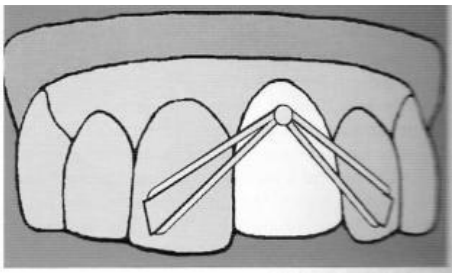


Source : Armbruster, « An Essix intrusion appliance », 2003

2.4.1.2.5 Le mouvement d'extrusion

Après le thermoformage de l'aligneur, une large fenêtre est découpée pour permettre le déplacement de la dent cible dans le sens gingivo-occlusal. Deux ailettes, découpées au scalpel ou fabriquées grâce à la pince Hilliard, sont créées de part et d'autre de la dent à égresser. Enfin, un bouton en composite est collé sur la face vestibulaire de la dent cible dans une position plus gingivale que les ailettes afin de permettre le port d'un élastique en forme de « V »[27].

Figure 15 : Extrusion d'une 21



Source : Anbuselvan, « Essix appliance revisited », 2012

[26] Ibid.
[27] Anbuselvan et al., « Essix appliance revisited ».

2.4.1.2.6 Le mouvement de rotation

Pour permettre la rotation, une réduction interproximale est pratiquée. Sur le modèle de travail, le praticien fabrique l'aligneur. Ce dernier devra intégrer les forces et l'espace nécessaires pour effectuer le mouvement de rotation.

L'espace pourra être créé de 3 façons différentes [28] :

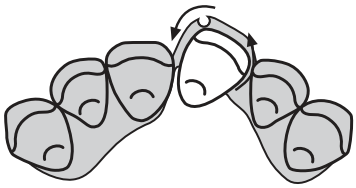
- Couper une fenêtre avec la pince « Window Bur » #18925 et le scalpel
- Ajouter de la résine acrylique sur le modèle avant thermoformage
- Utiliser la pince « Bubble-forming thermoplier » #82590 pour créer une bosse

Les deux dernières méthodes éviteront l'irritation des muqueuses buccales.

Le point d'application de la force sera modifié en fonction du résultat désiré [29] :

- Rotation autour d'un point de contact ou rotation mono marginale : Le plus important sera de bloquer tout mouvement au niveau du point de contact correct. A ce niveau, l'aligneur devra adhérer parfaitement aux surfaces dentaires. Un espace et une force seront appliqués de part et d'autre de la dent au niveau du second point de contact. Ce dernier pourra ainsi pivoter comme une porte sur sa charnière.

Figure 16 : Rotation mono marginale



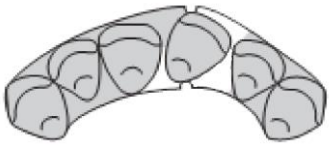
Source : Raintree Essix Publication, *Essix® appliance technology update : a scientific journal on the fabrication, alteration & retention*, 2003

[28] Raintree Essix Publication, *Essix® appliance technology update : a scientific journal on the fabrication, alteration & retention*.

[29] Anbuselvan et al., « Essix appliance revisited ».

- Rotation autour d'un axe dentaire : Les forces sont appliquées sur des surfaces diagonales opposées. Ainsi deux espaces sont aménagés sur les faces opposées appropriées.

Figure 17 : Rotation autour d'un axe dentaire



Source : Raintree Essix Publication, *Essix® appliance technology update : a scientific journal on the fabrication, alteration & retention*, 2003

2.4.1.2.7 Mouvements interarcades de CL II et CL III

Des élastiques peuvent être utilisés entre deux gouttières recouvrant complètement les arcades, ou entre une gouttière et un appareillage fixe ou entre une gouttière et un masque facial [30].

Figure 18 : Des élastiques de CL III

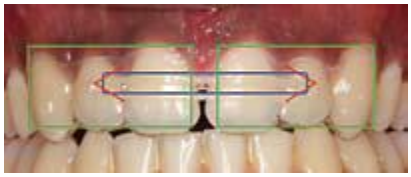
Source : Rinchuse, Elastic traction with Essix-based anchorage, 2002

2.4.1.2.8 Fermeture d'un diastème

Une gouttière est fabriquée puis découpée à l'endroit du diastème formant ainsi deux blocs, puis un élastique est accroché sur des ailettes découpées au scalpel [31]. Ce mouvement présente un risque de mésioversion coronaire réciproque.

[30] Rinchuse, Rinchuse, et Dinsmore, « Elastic traction with Essix-based anchorage ».
[31] Cassarella et Pair, « Closure of a minor midline diastema using Essix trays ».

Figure 19 : Fermeture d'un diastème avec un élastique



Source : Cassarella et Pair, « Closure of a minor midline diastema using Essix trays », 2011

2.4.2 Le système CA® Clear-Aligner

2.4.2.1 Présentation du système

A ses débuts, le système Clear Aligner, créé par T.W. Kim, était une technique contrôlée par le praticien comme le système ESSIX®. Le processus Clear Aligner implique la fabrication centralisée des différents ensembles de set up avec les dents fixées dans la position désirée. Ces derniers sont envoyés par la suite au praticien qui les utilisera pour produire les aligneurs dans son propre laboratoire [32]. Depuis 2007, Clear Aligner est commercialisé en Allemagne par la société Scheu Dental. Cependant, depuis 2010, T.W. Kim a développé Clear Aligner en un système entièrement assisté par ordinateur, dans lequel les aligneurs eCligner® sont fabriqués de manière centralisée. Les praticiens qui préfèrent réaliser les gouttières dans leur propre laboratoire ont opté pour le système CA® Clear Aligner qui n'est que partiellement assisté par ordinateur et suit l'exemple du Dr Pablo Echarri. Les matériaux et les aides de laboratoire requis pour cette technique sont disponibles auprès de Scheu Dental.

Les set-up sont fabriqués de manière centralisée, tandis que la production des aligneurs a lieu au sein même du laboratoire du praticien. Une caractéristique particulière du système Clear Aligner est que chaque étape du traitement est réalisée en utilisant trois aligneurs successifs, chacun avec un degré différent d'élasticité : CA Soft, CA Medium et CA Hard.

Les Aligneurs respectifs ont des épaisseurs de feuille de DURAN® (polyéthylène téréphtalate glycolisé) différentes : 0,5 mm (soft), 0,62 mm (medium) et 0,75 mm (hard). Ils sont fabriqués, dans le cabinet dentaire, avec une machine de moulage sous pression tel qu'un BIOSTAR® ou un MINISTAR® (Scheu-Dental). Mais la différence significative entre cet appareil et eCligner® est que plusieurs nouvelles empreintes doivent être prises parce que leur fabrication n'est pas entièrement informatisée [33].

[32] Kim, « Clear aligner : an alternative orthodontic appliance ».
[33] Echarri Lobiondo, « CA® Clear-Aligner therapeutic possibilities ».

En 2011, Christian Scheu et Dr. Yong-min Jo ont fondé CA DIGITAL GmbH, qui est une filiale de SCHEU-DENTAL, pour faire face à la demande croissante de solutions de traitement numérique.

Le dentiste a le choix d'envoyer des empreintes numériques ou conventionnelles. CA DIGITAL® établit le diagnostic et le plan du traitement selon les données reçues (radiographies, examen clinique, photos, mordu occlusal, empreintes). Après l'accord du praticien, CA DIGITAL® fabrique le modèle set-up en impression 3D selon le plan du traitement, une correction du traitement étant donc possible à tout moment via l'interface numérique. Le dentiste commande le premier set up pour fabriquer les trois gouttières (soft, medium et hard) dans son laboratoire [34].

Depuis quelques années, CA DIGITAL® offre une option « all inclusive », qui consiste à fabriquer les gouttières et de les envoyer au praticien (comme Invisalign® et eCligner®).

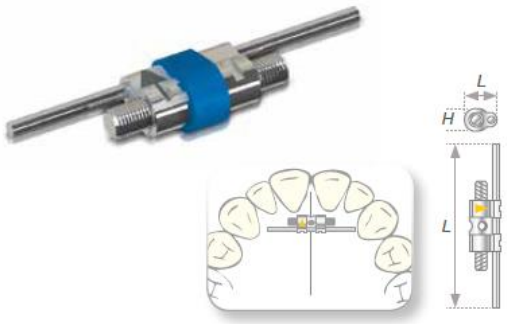
Dans de nombreux cas, le praticien a besoin de créer de l'espace avant de débuter le traitement orthodontique. CA Clear aligner propose trois options :

- Expansion si l'encombrement est supérieur à 3 mm

VECTOR® 40 est un écarteur spécial en version miniaturisée, utilisé dans la fabrication des gouttières CA®-hard, permettant une expansion transversale rapide. Les bras de rétention assurent un ancrage sécurisé sur les gouttières CA® à l'aide de résine auto-polymérisable.

Cet appareil est activé par un tour de vis tous les 3-4 jours ou un quart de tour une fois par jour.

Figure 20 : VECTOR® 40 (L × H × L : 3,6 × 2,5 × 19 mm)



Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner advanced*, 2016

- BLUE-BLOKKER® est une résine de comblement photo-polymérisable, destinée à créer de l'espace sur set-up avant la fabrication des aligneurs.
- Stripping [35] :

[34] Echarri Lobiondo et Echarri, « Updating the CA Clear Aligner therapy ».
[35] Echarri Lobiondo, *Clear aligner advanced*.

Contrairement à d'autres systèmes d'aligneur, le stripping est effectué dans la bouche du patient avant la prise d'empreinte.

CA clear aligner recommande l'utilisation du Set ECHARRI PST pour la Thérapie Progressive Stripping (PST) qui comprend des outils de stripping CA® (90µm (vert), 60 µm (gris), 40µm (rouge), 25µm (blanc), 15µm (jaune)) et une jauge CA® pour le contrôle de la réduction amélaire.

Cette dernière ne doit pas dépasser :

- 0,5 mm sur les faces mésiales et distales des incisives centrales, canines supérieures et inférieures, prémolaires supérieures et inférieures, molaires supérieures et inférieures.
- 0,3 mm sur les faces mésiales et distales des incisives latérales supérieures et des incisives inférieures.

Il est recommandé d'utiliser Clear Aligner pour effectuer une expansion avant le stripping, pour un meilleur accès aux faces proximales.

Figure 21 : Set ECHARRI PST

Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

CA clear aligner propose de nombreux outils ou aides pour réduire temps de traitement et augmenter l'efficacité des appareils :

-Les vis et vérins Victor

- Les quatre pinces CA pour activer les aligneurs
- La technique CA® POWER GRIP qui permet la fabrication des attachements individuels. Neuf formes différentes sont disponibles, à remplir avec un composite photopolymérisable et à mettre directement sur la dent. Ces attachements sont destinés à augmenter l'efficacité et la rapidité des mouvements dentaires.
- Les boutons en plastique comme ancrage pour les élastiques.

2.4.2.2 Considérations biomécaniques

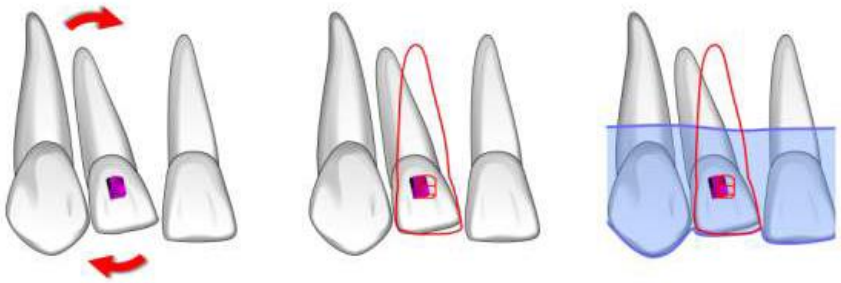
2.4.2.2.1 Le mouvement de version [36]

- Version mésiale et distale

Les Power Grips CA 2 et 3 permettent de corriger des inclinaisons mésio-distales. Ils sont collés à la dent avant de prendre l'empreinte qui sera envoyée au laboratoire.

- CA Power Grip 2, inclinaison mésio-distale (MDI), est utilisé pour effectuer un mouvement distal de la racine des dents supérieures droites et inférieures gauches et un mouvement mésial de la racine des dents supérieures gauches et inférieures droites.
- CA Power Grip 3, inclinaison disto-mésiale (DMI), est utilisé pour effectuer un mouvement mésial de la racine des dents supérieures droites et inférieures gauches et un mouvement distal de la racine des dents supérieures gauches et inférieures droites.

Figure 22 : Version disto-mésiale de la racine de la 12



Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

- La version vestibulaire et linguale [37]

Selon le cas clinique, le praticien a le choix entre trois options :

- CA® Bubbles

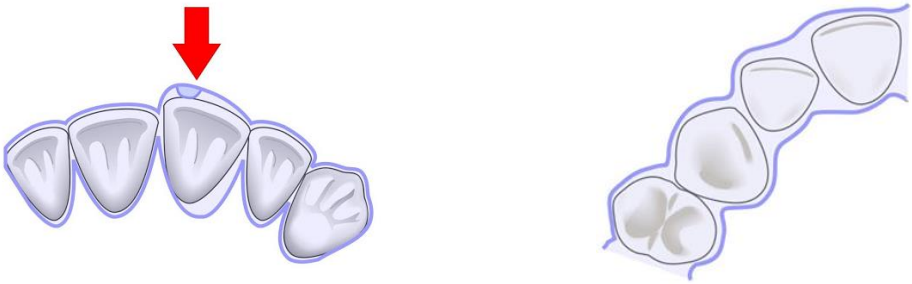
Sur le même set-up, les aligneurs CA®-soft, CA®-medium, CA®-hard et CA® Bubbles sont réalisés. Ce dernier possède une bulle dans le sens du mouvement. Le patient portera CA® Bubbles pendant la quatrième semaine pour réaliser plus de mouvement de version.

- CA® Bubbles Activable

[36] Echarri Lobiondo, *Clear-Aligner®*.
[37] Ibid.

Les aligneurs CA®-soft, CA®-medium et CA®-hard sont fabriqués, mais avant que CA®-hard ne soit moulé par pression, un espace peut être créé dans le sens du mouvement de la version de la dent, de sorte que le praticien puisse créer une bulle d'activation avec la pince CA Tip 1.

Figure 23 : CA® Bubbles et CA® Bubbles activable

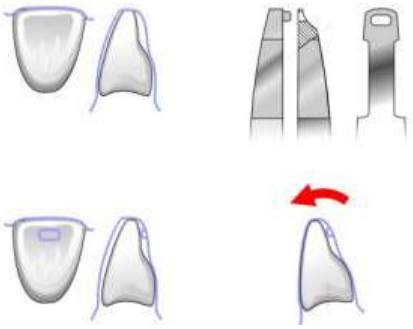


Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

- La pince CA Tip 3

Elle est utilisée pour les versions vestibulo-linguales des incisives. L'activation est effectuée près du bord incisif. Il est nécessaire de créer un espace pour ce mouvement avec la résine BLUE-BLOKKER®.

Figure 24 : Mouvement de version avec la pince Tip 3



Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

2.4.2.2.2 Le mouvement de translation [38]

Une translation pure est difficile à réaliser, il existe un risque de version radiculaire. Ce mouvement nécessite une grande expérience de la part du praticien pour maîtriser les mouvements parasites de la racine.

- Translation mésiale et distale
  - Les incisives

[38] Echarri Lobiondo, *Clear aligner advanced*.

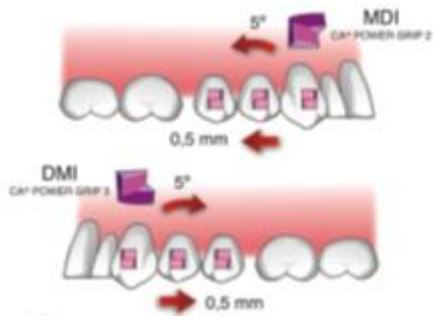
Pour un diastème < 1,5 mm : les Power Grips CA 2 et 3 peuvent être utilisés. Il existe un risque de version radiculaire de 3°.

Pour un diastème > 1,5 mm, les boutons en plastique CA® sont associés à des élastiques.

- Les canines et les prémolaires

Les Power Grips CA 2 et 3 peuvent être utilisés avec un risque de version radiculaire de 5°.

Figure 25 : Distalisation des prémolaires et des canines avec les power grip 2 et 3

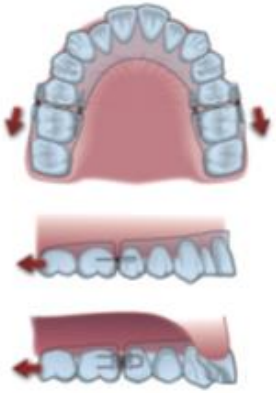


Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner advanced*, 2016

- Les molaires

Le kit de distalisation de CA® se compose d'une vis unidirectionnelle VECTOR® 350 positionnée sur le côté lingual, d'un tube, un fil métallique et un ressort à boudin ouvert, qui sont positionnés sur le côté vestibulaire.

Figure 26 : Le kit de distalisation de CA®



Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner advanced*, 2016

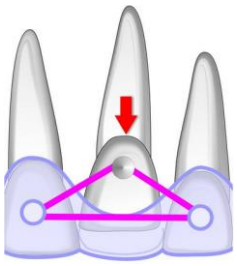
2.4.2.2.3 Le mouvement d'égression :

- Extrusion unitaire

Pour réaliser un mouvement d'extrusion :

- CA® POWER GRIP MFM 1 (Multifunctional Force Movement) sera collé sur la face vestibulaire de la dent,
- 2 boutons en CA® CLEAR-ALIGNER seront mis sur l'aligneur au niveau des dents adjacentes.

Figure 27 : Dispositif d'égression

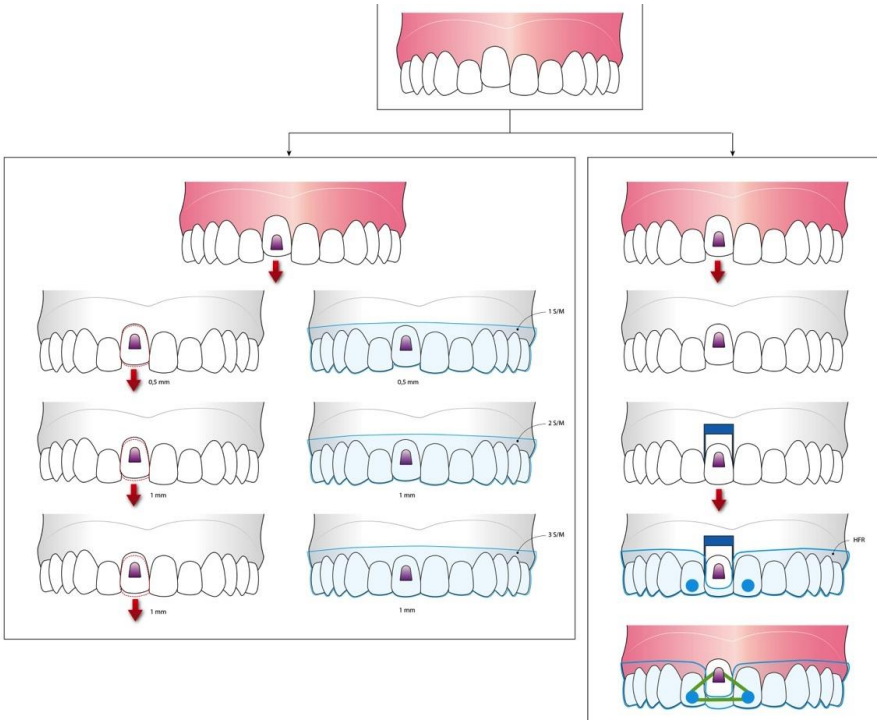


Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

L'extrusion est activée en changeant les élastiques 3 à 4 fois par jour. Le CA® CLEAR-ALIGNER est réalisé de telle sorte que lorsque l'extrusion nécessaire est terminée, l'aligneur bloque la dent dans la position souhaitée. Le patient doit utiliser CA Clear Aligner Hard Extrusion avec des élastiques le plus d'heures possible (pendant la nuit et à la maison). Il peut aussi utiliser CA Clear Aligner Soft (la première semaine) et Medium (la deuxième semaine) qui couvriront le CA Power Grip et offriront un confort esthétique.
Le Dr Echarri estime le temps nécessaire pour exécuter 1,5 mm d'égression à 6 semaines [39].

[39] Echarri Lobiondo, *Clear-Aligner®*.

Figure 28 : Utilisation de CA Clear Aligner Soft ou Medium (à gauche) et CA Clear Aligner Hard (à droite)



Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

- Béance antérieure et latérale [40]

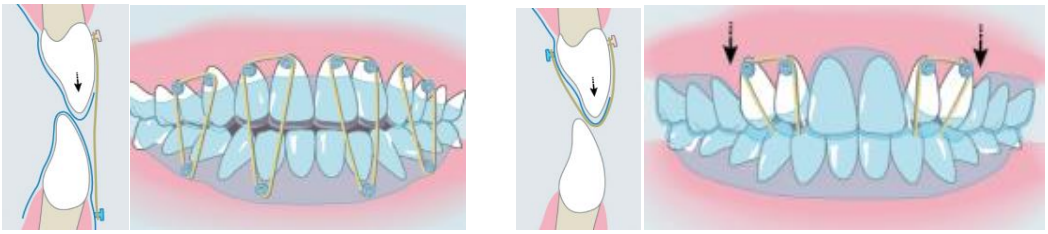
La fermeture de la béance par l'extrusion des dents est réalisée en collant des CA® POWER MFM 1 sur les dents à égresser et des boutons en plastique CA® sur les aligneurs. Il existe cependant deux options pour le collage des boutons :

- Collage sur l'aligneur inférieur en ajoutant des points de rétention avec la pince T1.
- Collage sur la face palatine du même aligneur. Cette option offre plus de confort au patient.

L'activation du mouvement se fait en changeant les élastiques 3 à 4 fois par jour.

[40] Park et Kim, « Open-bite treatment utilizing clear removable appliances with intermaxillary and intramaxillary elastics ».

Figure 29 : Egression avec des élastiques inter-arcades (à gauche) et intra-arcades (à droite)



Source : Kim T. W. Park J.J., Open-bite treatment utilizing clear removable appliances with intermaxillary and intramaxillary elastics, 2009

2.4.2.2.4 Le mouvement d'intrusion

- Intrusion d'une dent antérieure

Pour ce mouvement, le CA® Clear Aligner Hard est moulé sur le modèle original sans effectuer de changement puis [41] :

- Deux boutons sont appliqués sur l'aligneur en vestibulaire et en lingual au niveau de gencive marginale de la dent cible.

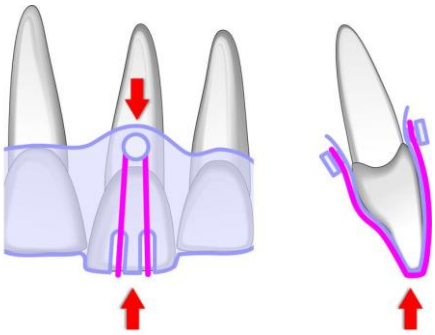
- Deux rainures de 1,5-2 mm de profondeur sont faites au niveau du bord incisif avec une fraise de 1 mm de diamètre pour accrocher les élastiques.

Le mouvement est activé en changeant les élastiques (1/8 " et 4,5 oz) 3 à 4 fois par jour. Le CA® CLEAR-ALIGNER est réalisé de telle sorte que lorsque l'intrusion nécessaire est terminée, la dent arrête d'ingresser.

Avant d'effectuer ce mouvement, le praticien doit vérifier, sur une téléradiographie du profil, si le torque de la dent est correct. Cette précaution permettra d'éviter que l'apex de la dent ne soit en contact avec l'os cortical, et que l'intrusion puisse être effectuée à travers l'os spongieux [42].

[41] Park et Kim, « Deep-bite correction using a clear aligner and intramaxillary elastics ».
[42] Echarri Lobiondo, *Clear-Aligner®*.

Figure 30 : Intrusion d'une incisive centrale



Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

- Ingression d'une dent postérieure [43]

Le CA Clear Aligner Hard est réalisé sur le modèle initial. Puis, deux boutons sont appliqués sur le côté vestibulaire et lingual de la molaire. Enfin, la partie occlusale de l'aligneur est coupée.

L'utilisation d'élastiques (1/8 ") appliquant une force de 2,5 oz sont indiqués pendant les 2-3 premières semaines, puis des élastiques de 4,5 oz. Un mouvement d'ingression de 1,5 mm est constaté au bout 8 à 10 semaines. Les élastiques doivent être changé chaque jour.

Figure 31 : Dispositif d'ingression d'une molaire

Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

- Supraclusion

Les Power Grips 8 (Build-Up Anterior small ou BUAS) et 9 (Build-Up Anterior Large ou BUAL) permettent d'effectuer le mouvement d'ingression en cas de supraclusion antérieure. Sur les faces palatines, les Power Grips 8 sont collés sur des incisives latérales supérieures et Les Power Grips 9 sur les incisives centrales supérieures, à une distance de 2 mm du bord incisif. Le praticien effectuera un ajustement de telle sorte que les incisives inférieures entrent en contact avec les quatre CA® POWER GRIP. Ces derniers facilitent la correction de la supraclusion car la force d'intrusion des incisives passe plus

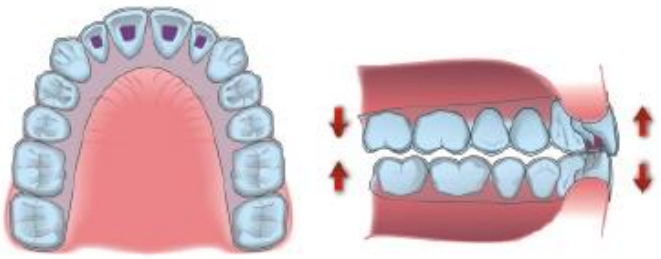
[43] Echarri Lobiondo, *Clear aligner advanced*.

près du centre de résistance de ces dents, et la désocclusion des dents postérieures facilite leur extrusion.

Ils peuvent également être combinés avec CA Clear Aligner Hard. Le patient doit utiliser ce dernier, avec des élastiques le plus d'heures possible (pendant la nuit et à la maison). Il peut aussi utiliser CA® Clear Aligner Soft et Medium qui couvriront le CA® Power Grip et offriront un confort esthétique [44].

En utilisant la pince TIP1, le praticien ajoutera des points de rétention interdentaires au niveau des molaires environ à 2 mm au-dessus de la marge gingivale [45].

Figure 32 : Désocclusion molaire pendant le mouvement d'ingression



Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner advanced*, 2016

2.4.2.2.5 Le mouvement de rotation [46]

L'espace nécessaire à la rotation peut être créé au moyen d'expansion ou de stripping.

CA Clear Aligner permet la correction des rotations en utilisant différents systèmes : CA Clear Aligner et les set-up progressifs, CA® Clear Aligner et le CA® Power Grip 1 (MFM ou Multifunctional Force Movement) et CA® Clear Aligner et les points d'activation avec la pince T2.

- CA® Clear Aligner et les set-up progressifs

La première étape de correction de la rotation débute avec un mouvement de 0,5 mm puis des mouvements de 1 mm jusqu'à l'obtention d'une position optimale. A chaque étape, des nouveaux CA clear aligner soft, medium et hard sont fabriqués.

- CA® Power Grip 1 (Multifunctional Force Movement)

Lorsque le CA® Power Grip 1 est collé, les empreintes sont prises et tous les set-up nécessaires pour une correction complète de la rotation sont fabriqués :

- Un premier set up avec 0,5 mm de correction est effectué, et CA® Clear Aligner SOFT et MEDIUM sont moulés dessus (1S - 1M).

[44] Echarri Lobiondo, *Clear-Aligner®*.
[45] Park et Kim, « Deep-bite correction using a clear aligner and intramaxillary elastics ».
[46] Echarri Lobiondo, *Clear-Aligner®*.

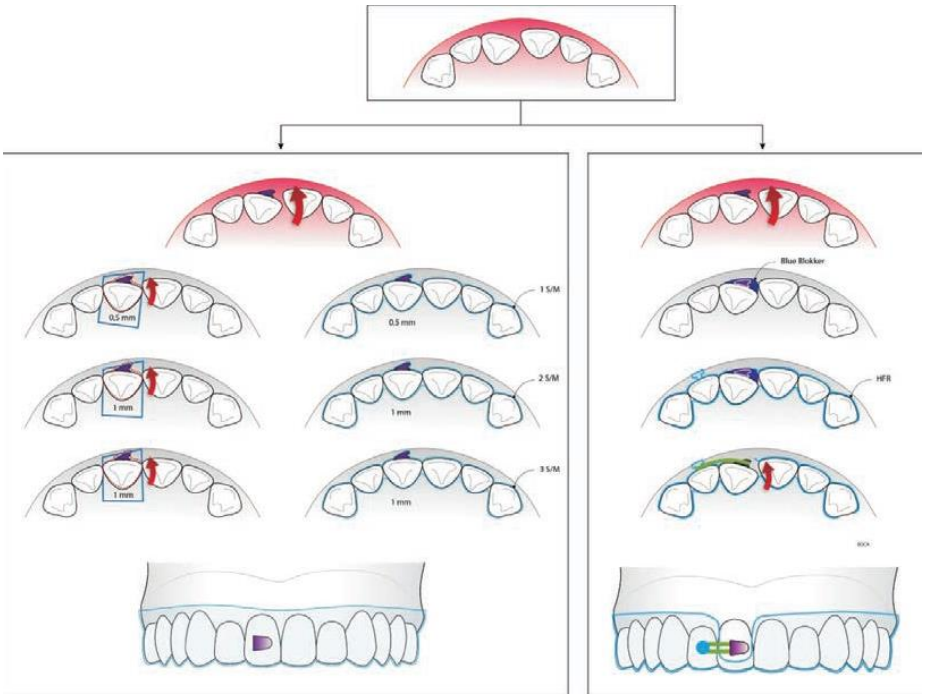
- Un deuxième set-up avec une correction de 1 mm est effectué, et CA® Clear Aligner SOFT et MEDIUM sont moulés dessus (2S - 2M).

La fabrication des set-up se poursuit jusqu'à la correction complète de la rotation (3S - 3M).

En utilisant le même modèle initial, l'espace nécessaire pour la correction complète est prévu, et un CA® Clear Aligner HARD Forced Rotation (HFR) est moulé. Ce dernier est ajusté au niveau du CA® Power Grip, et comporte un bouton CA au niveau de la dent adjacente. Le patient l'utilise avec un élastique du bouton de l'aligneur au CA® Power Grip. L'élastique doit être de 1/8 "et 2.5 oz pour la première étape et 4.5 oz pour les autres étapes. Le patient utilise un nouvel élastique chaque fois qu'il utilise l'aligner.

La première semaine, le patient utilisera CA® Clear Aligner 1S en journée, et CA® Clear Aligner HFR à la maison et la nuit. La deuxième semaine, il utilisera 1M quand il est à l'extérieur, et le même HFR à la maison et la nuit. Il continuera de la même façon avec les gouttières 2S, 2M, 2S, 3M.

Figure 33 : Mouvement de rotation avec CA soft ou medium à gauche et hard à droite



Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

- CA® Clear Aligner et les points d'activation (CA Plier Tip 2)

Les aligneurs SOFT et MEDIUM et HARD sont fabriqués avec l'espace nécessaire pour la rotation. La première semaine, le patient utilisera l'aligneur SOFT, la deuxième semaine, il utilisera le MEDIUM, et la troisième semaine, il utilisera le HARD. Puis, des nouvelles empreintes sont prises pour la prochaine étape. Le clinicien activera l'aligneur HARD en utilisant le CA Plier Tip 2, et le patient utilisera cet aligneur activé pendant la quatrième semaine.

Le praticien peut aussi commander des aligneurs SOFT, MEDIUM, HARD et HAP (dur avec point d'activation) du laboratoire.

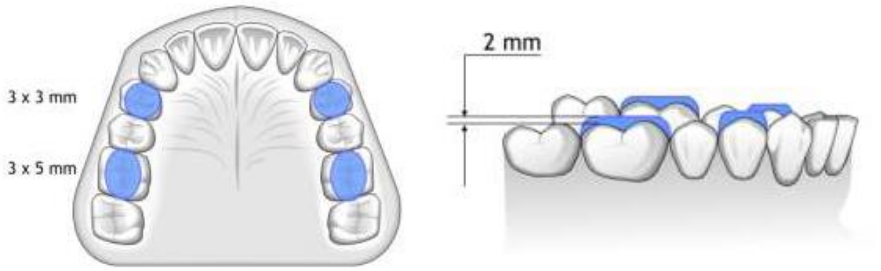
2.4.2.2.6 L'Inversé d'articulé antérieur [47]

Les Power Grips CA 6 et 7 permettent d'augmenter la dimension verticale quand il y a des interférences pendant la correction des inversés d'articulé antérieurs. Ils sont collés avant de prendre l'empreinte. L'occlusion doit être vérifiée avec du papier articulé.

Le CA Power Grip 6 BUB (Build-Up Bicuspid) est collé sur les prémolaires. Il a une forme cylindrique avec une base circulaire de 2 mm de diamètre et une hauteur de 2 mm.

Le CA Power Grip 7 BUM (Build-Up Molar) est collé sur les molaires. Il a une forme cylindrique avec une base ovale dont les diamètres sont de 3 mm et 5 mm, et une hauteur de 2 mm.

Figure 34 : CA Power Grip 6 et 7



Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

2.3.2.2.7 Le mouvement de torque [48]

Le CA Power Grip 4 (Force Application Labial - FALA) et le CA Power Grip 5 (Force Application Lingual – FALI) permettent la correction du torque jusqu'à 5°.

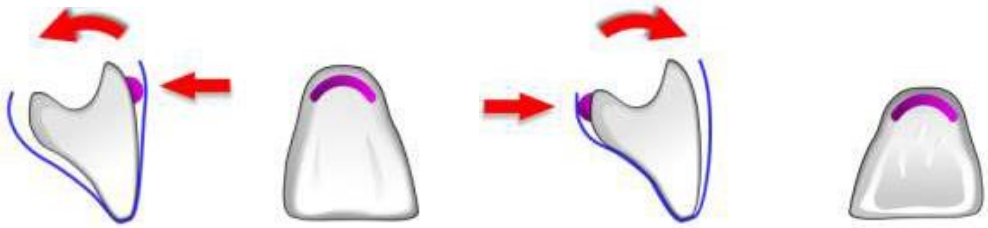
Ils sont collés, après la prise de l'empreinte, sur les incisives et les canines à proximité de la gencive marginale. Un espace est créé dans le sens du mouvement avec la résine BLUE-BLOKKER®.

S'ils sont collés sur la face vestibulaire, ils augmentent le torque corono-vestibulaire, au contraire s'ils sont collés sur face linguale, ils le réduisent.

CA Power Grip 4 est plus grand et peut être collé sur les faces vestibulaires des incisives supérieures et des canines. CA Power Grip 5 peut être collé sur les faces vestibulaires des incisives latérales supérieures et des incisives inférieures, sur les faces linguales de toutes les dents du bloc incisivo-canin.

[47] Echarri Lobiondo, *Clear aligner advanced*.
[48] Ibid.

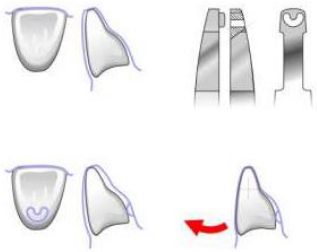
Figure 35 : Mouvement de torque avec les power grip 4 et 5



Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

Néanmoins, certaines dents ne présentent pas un espace suffisant pour le collage de ces power grip. Dans ce cas, CA® TIP Plier 4 est utilisé pour effectuer des points d'activation. Il est nécessaire d'ajouter la résine BLUE-BLOKKER®, avant la fabrication des aligneurs, pour créer de l'espace.

Figure 36 : Mouvement de torque avec la pince Tip 4



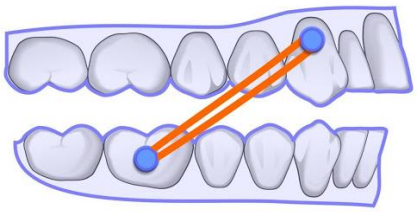
Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

2.4.2.2.7 Les mouvements inter-arcades

Des Boutons CA® peuvent être utilisés avec des élastiques intermaxillaires pour corriger le décalage inter-arcade. Le mouvement est activé en changeant les élastiques 3 à 4 fois par jour [49].

[49] Echarri Lobiondo, *Clear-Aligner®*.

Figure 37 : Dispositif inter-arcade pour corriger une Classe II

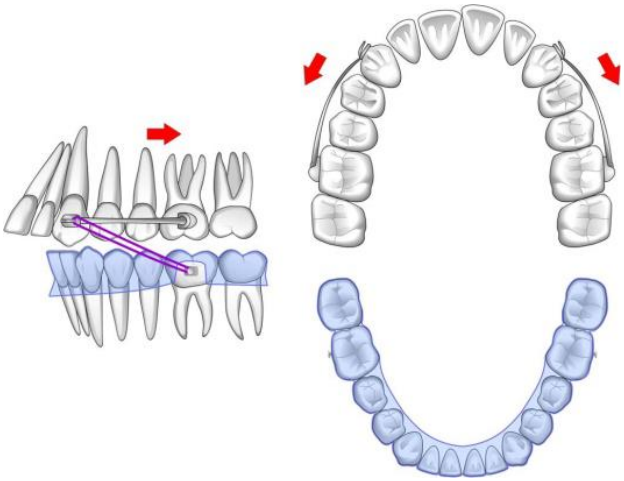


Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

L'appareil Carriere Distalizer est un dispositif qui permet simultanément la distalisation des canines, des bicuspides et des molaires. Il se compose d'un tampon, qui se fixe à la canine, muni d'un crochet pour les élastiques intermaxillaires, et d'un coussin postérieur, qui se fixe à la molaire, qui est muni d'un bras articulé [50].

Des dispositifs similaires, commercialisés par Henry Schein, sont aussi utilisés avec d'autres systèmes comme Invisalign® et Essix®.

Figure 38 : L'appareil Carriere Distalizer corrigeant une Classe II



Source : Echarri Lobiodo, *Clear-Aligner®*, 2013

[50] Echarri Lobiondo, *Clear aligner advanced*.

2.4.3 L'Align technology (Invisalign®)

2.4.3.1 Présentation du système

Le système Invisalign est produit par Align Technology Inc. (Santa Clara, CALIFORNIE, USA) et est basé sur la technologie 3D utilisant CAD-CAM (computer-aided design and computer-aided manufacturing). Les aligneurs sont en polyuréthane et peuvent être utilisés pour corriger les différents types de malocclusions. Ils sont conçus pour ne pas employer des fils ou autres accessoires métalliques utilisés dans les appareils fixes classiques. Seuls les cliniciens accrédités peuvent utiliser ce système.

Le praticien envoie à Align Technology le diagnostic, le plan de traitement, des empreintes optiques ou en polyvinylsiloxane (silicones par addition en technique double mélange), un enregistrement en intercuspidation maximale, une radiographie panoramique, une téléradiographie de profil et des photographies extra-orales (visage de face, de profil, de ¾ et le sourire naturel non forcé) et intra-orales (une vue de face, deux vues latérales et deux vues occlusales). Les empreintes sont numérisées et des versions en 3D des arcades maxillaire et mandibulaire et de l'occlusion dentaire du patient sont créées. Suivant les prescriptions demandées par l'orthodontiste, un set-up virtuel est proposé, le fameux ClinChek®. Le praticien peut demander autant de modifications qu'il le juge nécessaire avant de valider le cas et lancer la fabrication des aligneurs [51].

Depuis quelques années, les empreintes classiques sont remplacées par les empreintes optiques avec la démocratisation de l'utilisation du scanner intraoral iTero®. Selon la firme Align Technology, cette innovation technologique a apporté plusieurs avantages [52] :

- Les set-up ClinCheck® sont reçus 2 fois plus rapidement
- Il y a 10 fois moins de rejets pour les empreintes
- Il y a 7 fois moins de problèmes d'ajustement
- Ce scanner permet une vision immédiate par le patient et le clinicien d'un « pré ClinCheck® » favorisant ainsi l'acceptation du traitement.

Une fois que le ClinCheck® est approuvé, la phase CAM (Computer Aided Manufacturing) peut commencer. La stéréolithographie est utilisée afin de produire les modèles pour la fabrication des gouttières du patient. La société garantit le mouvement lent de la dent (mouvement linéaire : 0.25 mm/mois ; mouvement angulaire : 2º/mois) sans interférences occlusales ou interproximales. Par conséquence, le nombre de gouttières pour chaque cas dépend de la complexité des mouvements nécessaires. Le praticien reçoit tous les aligneurs environ 45 jours après l'approbation du ClinCheck®.

[51] Wong, « Invisalign A to Z ».
[52] Garino, Garino, et Castroflorio, « The iTero intraoral scanner in Invisalign treatment : a two-year report ».

L'approche Invisalign® était indiquée au début pour le traitement des encombrements dentaires légers à modérés (1-6 mm), espacement léger à modéré (1-6 mm) et les inversés d'articulé non squelettiques. A l'heure actuelle, des traitements plus complexes impliquant des extractions, le mouvement distal, les supraclusions, les béances et les cas à terrain parodontal défavorable sont traités avec succès par cette technologie et rapportés dans la littérature [53]. Ceci est dû à des améliorations dans le système qui permettent maintenant le mouvement simultané de toutes les dents. Ces améliorations concernent surtout les auxiliaires qui sont créés par le logiciel Treat® et placés par le ClinCheck®. Il est important de préciser que le praticien peut toujours intervenir dans cette étape pour changer la localisation ou la forme de l'auxiliaire s'il y a des contre-indications cliniques.

Ces différents auxiliaires correspondent à :

- Des crêtes de pression ou butées (power ridge)
- Des attachements ou taquets qui présentent des fonctionnalités évolutives (G3, G4, G4E, G5, G6, G6+, G7)
- Des points de pression

Les aligneurs sont portés en permanence, ils ne doivent être enlevés que pendant les repas et le brossage. Cependant, le patient peut les garder en bouche pour boire de l'eau. Chaque aligneur doit être porté au moins 20 heures par jour, et cela pendant 14 jours d'affilée. Les aligneurs doivent être nettoyés à l'aide d'une brosse à dents et du dentifrice et rincés par de l'eau froide pour éviter une éventuelle distorsion causée par la chaleur. Les consignes actuelles de durée de port vont à la diminution de temps de port de chaque aligneur (22h/J mais sur 7 à 10J)

En ce qui concerne la contention après le traitement, le dernier aligneur peut être porté, avec une contention linguale collée de canine à canine.

L'aligneur muni des auxiliaires est capable de fournir des systèmes de forces complexes et précis tout en évitant les réactions non désirées [54].

2.4.3.2 Considérations biomécaniques

2.4.3.2.1 Le mouvement de version

Une seule force appliquée à la couronne dentaire est suffisante pour effectuer ce mouvement et cela par un contact serré aligneur/dent sans avoir recours à des auxiliaires [55].

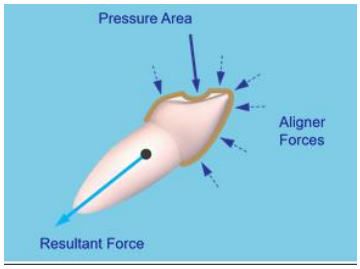
[53] Chazalon, « Invisalign®, 15 ans après, est-il devenu une véritable alternative au traitement multi-attaches ? »
[54] Schupp et Haubrich, *Aligner orthodontics : diagnostics, biomechanics, planning and treatment*.
[55] Ibid.

2.4.3.2.2 Le mouvement d'ingression

- Ingression d'une dent

Un contact serré au niveau du bord libre (incisive) ou de la face occlusale (molaire, prémolaire) et une zone de pression (incisives et canines inférieures) sont capables d'effectuer un mouvement d'ingression [56].

Figure 39 : Des contacts serrés et une zone de pression linguale

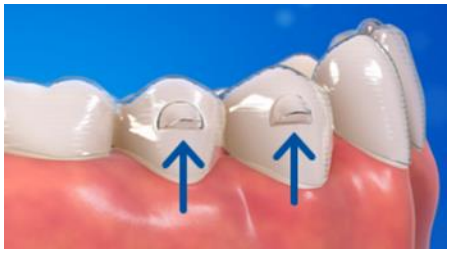


Source : Invisalign, Académie, 2018

- Supraclusion

Dans ce cas, le mouvement créé une interférence occlusale transmise aux dents adjacentes et engendre un soulèvement de l'aligneur à ce niveau, ce qui peut poser problème. Des taquets de supraclusion optimisés sont positionnés sur les prémolaires pour créer un ancrage suffisant [57].

Figure 40 : Des taquets de supraclusion optimisés



Source : Invisalign, Académie, 2018

Sur les faces palatines de incisives supérieures, des rampes d'occlusion de précision peuvent être ajoutées si une désocclusion des dents postérieures est souhaitée.

[56] Ibid.
[57] Chazalon, « Invisalign®, 15 ans après, est-il devenu une véritable alternative au traitement multi-attaches ? »

Figure 41 : Des rampes d'occlusion de précision

Source : Invisalign, Académie, 2018

2.4.3.2.3 Le mouvement de translation :

Si le but de ce mouvement est de réaliser une translation, il est cependant nécessaire de rester vigilant afin d'éviter toute version de la dent. A l'origine, des attachements rectangulaires verticaux ont été utilisés. Cette approche initiale a donné des résultats satisfaisants même dans des cas de fermeture d'espaces après extraction [58]. Cependant, depuis l'année 2014, les attachements dits G4 ont fait leur apparition [59].

Figure 42 : Des attachement G4 sur la 11 et la 21 pour fermer le diastème

Source : Schupp et Haubrich, *Aligner orthodontics*, 2016

2.4.3.2.4 Le mouvement de torque :

Initialement ce type de mouvement était particulièrement difficile à réaliser du fait du manque de contrôle des mouvements radiculaires. En effet, la déformation de l'aligneur posait particulièrement un problème. Si le but est d'effectuer un mouvement de torque radiculaire dans le sens radiculo-lingual, cela a pour conséquence la création d'un espace entre l'aligneur et la face linguale de l'incisive. Or ce contact est nécessaire pour le contrôle du mouvement radiculaire. Afin d'éviter ces mouvements

[58] Gomez et al., « Initial force systems during bodily tooth movement with plastic aligners and composite attachments : a three-dimensional finite element analysis ».
[59] Morton et al., « Design of the Invisalign system performance ».

indésirables, une modification de la forme de l'aligneur (comme une butée), nommée « power Ridge » a été proposée. Cette dernière permet de produire un système de force pour rétablir le contact aligneur/dent [60] [61].

Figure 43 : Des « power Ridge » au niveau des quatre incisives supérieures

Source : Schupp et Haubrich, *Aligner orthodontics*, 2016

2.4.3.2.5 Le mouvement d'extrusion

La difficulté principale réside dans le fait que la dent n'a pas une surface sur laquelle l'aligneur peut exercer une force pour engendrer le mouvement d'extrusion. Le taquet optimisé d'égression (G7) apporte cette surface plane, c'est la surface active. Le reste du dispositif est utilisé pour le maintien. L'aligneur est ainsi fabriqué de sorte que le contact reste serré au niveau de la surface active. De plus, un contact lâche est situé au niveau des autres surfaces ce qui contrôle l'intensité et le sens de l'extrusion.

Les taquets d'égression multi-dents est un ensemble de taquets optimisés d'égression qui travaillent comme une unité pour déplacer un groupe de dents. Ce système de force s'est révélé très efficace pour le traitement des béances antérieures en tirant parti des dents postérieures comme ancrage. Ces nouveaux attachements permettent aussi d'éviter le mouvement indésirable de version linguale lors de l'égression [62] [63].

[60] Schupp et Haubrich, *Aligner orthodontics : diagnostics, biomechanics, planning and treatment*.
[61] Simon et al., « Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners : incisor torque, premolar derotation, and molar distalization ».
[62] Schupp et Haubrich, *Aligner orthodontics : diagnostics, biomechanics, planning and treatment*.
[63] Morton et al., « Design of the Invisalign system performance ».

Figure 44 : Les taquets d'égression multi-dents (des forces extrusives sont appliquées aux dents antérieures (en bleu) et des forces intrusives sont appliquées aux dents postérieures (en blanc))

Source : Schupp et Haubrich, *Aligner orthodontics*, 2016

Sur une molaire, le taquet optimisé d'égression (G7) offre une égression égale ou supérieure à 0,5 mm, avec un risque de rotation inférieure à 5 degrés [64].

Figure 45 : Egression d'une molaire avec le taquet d'égression optimisé

Source : Invisalign, Académie, 2018

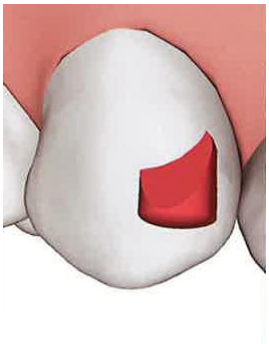
2.4.3.2.6 Le mouvement de rotation

L'utilisation des attachements rectangulaires pour effectuer la rotation des dents à géométrie sphérique comme les canines et les prémolaires a donné des résultats approximatifs [65]. En effet, dans les cas où une dérotation supérieure à 20° est nécessaire, il est impératif de placer un attachement rectangulaire long dans le sens occluso-gingival. Cependant, quand la dent est courte, il est très difficile pour le praticien de coller l'attachement à proximité de la gencive libre. De plus, s'il y parvient, la santé gingivale reste fortement compromise.

L'introduction du taquet de rotation optimisé a permis plus de maîtrise de ce mouvement. Le ClinCheck® positionne automatiquement la surface active sur la face vestibulaire de la dent, au plus loin possible du grand axe [66].

[64] Align Technology, « Encombrement ».
[65] Kravitz et al., « How well does invisalign work ? : a prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with invisalign ».
[66] Simon et al., « Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners : incisor torque, premolar derotation, and molar distalization ».

Figure 46 : Le taquet de rotation optimisé



Source : Schupp et Haubrich, *Aligner orthodontics*, 2016

La nouvelle génération de taquets G7 offre plus de fonctionnalités pour les mouvements des molaires, avec le taquet multi-plans optimisé qui prend en charge les mouvements de rotation et de combinaison avec ingression ou égression.

Le mouvement peut être égale ou supérieure à plus de 0,5 mm d'égression ou d'ingression et égale ou supérieure à 5 degrés de rotation alignée sur l'axe longitudinal de la dent dans n'importe quelle direction [67].

Figure 47 : Rotation avec égression et rotation avec ingression

Source : Invisalign, Académie, 2018

2.4.3.2.7 Le contrôle de mouvement radiculaire [68] [69] [70]

- Les canines

Lorsqu'un mouvement de translation mésio-distal au niveau de la racine d'une canine est nécessaire, l'option privilégiée est généralement d'exercer deux forces conjointes. Une première force mésiale ainsi qu'une seconde force distale toutes deux situées au niveau de la couronne afin de créer un

[67] Align Technology, « Encombrement ».
[68] Align Technology, « Invisalign® G4 enhancements : engineered to deliver even better clinical results ».
[69] Morton et al., « Design of the Invisalign system performance ».
[70] Schupp et Haubrich, *Aligner orthodontics : diagnostics, biomechanics, planning and treatment*.

moment au niveau radiculaire. Les taquets de contrôle radiculaire optimisés sont capables de produire ce système de force :

- Une force sur l'attachement gingival dans la direction du déplacement de la racine
- Une force sur l'attachement occlusal pour créer un contre-moment.

Figure 48 : Deux taquets de contrôle radiculaire optimisés

Source : Invisalign, Académie, 2018

- Les incisives latérales

Un seul taquet de contrôle radiculaire optimisé est placé sur la face vestibulaire de la dent. Par ailleurs, un point de pression est aussi placé sur l'aligneur afin de créer le système de force approprié.

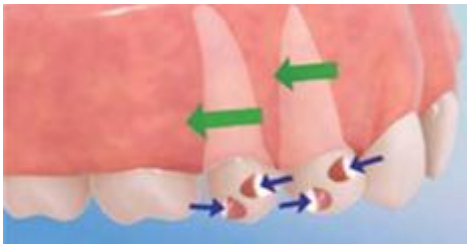
Figure 49 : Un taquet de contrôle radiculaire optimisé à gauche et un point de pression à droite

Source : Invisalign, Académie, 2018

- Les prémolaires

Quand la surface vestibulaire de la dent est de taille suffisante, deux taquets de contrôle radiculaire optimisés seront positionnés par défaut. Quand la surface vestibulaire de la dent est insuffisante pour placer deux attachements, un seul taquet de contrôle radiculaire optimisé est placé sur la face vestibulaire de la dent, et un point de pression supplémentaire est placé sur la face vestibulaire de l'aligneur pour créer le système de forces approprié.

Figure 50 : Deux taquets de contrôle radiculaire optimisés



Source : Invisalign, Académie, 2018

Figure 51 : Un taquet de contrôle radiculaire optimisé à gauche et un point de pression à droite

Source : Invisalign, Académie, 2018

D'une façon générale, les taquets de contrôle radiculaire optimisés sont conçus différemment pour chaque morphologie dentaire et pour chaque patient individuellement pour le contrôle de la racine dans le sens mésio-distal. Les applications cliniques comprennent la fermeture et l'ouverture des espaces ainsi que le mouvement de translation.

2.4.3.2.8 Association de mouvements

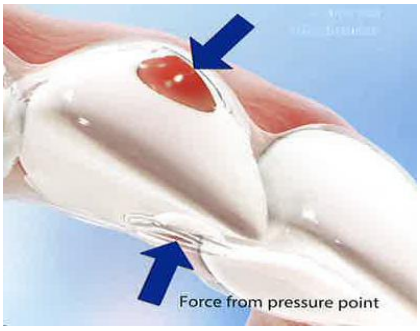
Le taquet multi-plans optimisé a été conçu pour deux raisons principales. Tout d'abord il permet d'améliorer la maîtrise des systèmes de forces complexes. Par ailleurs, il sert aussi à prévenir les réactions indésirables. En effet un système de forces ne peut se réduire à engendrer des mouvements simples dans un seul plan.

L'exemple suivant présentant le traitement d'une incisive latérale supérieure va nous permettre d'illustrer les différentes notions avancées ci-dessus. Dans cet exemple l'incisive latérale doit subir simultanément des forces d'égression, de rotation et de version. La surface active est orientée par le ClinkChek® de sorte à produire la force extrusive. De manière à compléter le système de force, un point de pression palatin sur l'aligneur est ajouté au dispositif antérieur précédent.

Figure 52 : Un taquet multi-plans optimisé

Source : Invisalign, Académie, 2018

Figure 53 : Un taquet multi-plans optimisé sur la face vestibulaire de la latérale et un point de pression sur le face platine de l'aligneur



Source : Invisalign, Académie, 2018

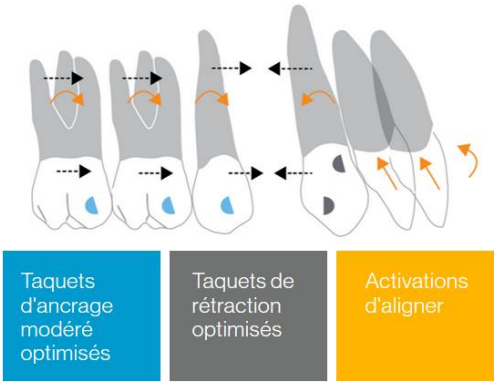
2.4.3.2.9 Fermeture des espaces d'extraction

Avec une unité multi-dents (G6+), SmartForce offre un ensemble de fonctionnalités appliquées par quadrant et se compose des taquets suivants :

- Taquets de rétraction optimisés pour un mouvement de translation efficace lors de la rétraction de canine, avec ou sans élastiques.
- Taquets d'ancrage optimisés pour apporter un ancrage postérieur modéré (il est possible de programmer 2 à 5 mm de mouvement mésial des couronnes postérieures dans le plan de traitement ClinCheck®).

Les activations sont effectuées sur les dents et les taquets afin de fournir les forces et les mouvements pour fermer l'espace d'extraction, tout en minimisant une version et une égression antérieure indésirables.

Figure 54 : Fermeture d'un espace d'extraction avec une unité multi-dents G6+



Source : Invisalign, Académie, 2018

2.4.4 Le système OrthoCAPS (TwinAligner®)

2.4.4.1 Présentation du système [71] [72]

Le système Orthocaps® est le principal concurrent européen d'Invisalign®. C'est un système basé sur le port de gouttières souple et rigide en alternance appelé : Twin Aligners System. Il a été développé par la société allemande Ortho Caps en 2006, notamment grâce à la contribution de l'orthodontiste Wajeeh Khan. Le traitement peut être partiel ou global, mono- ou bi-arcade.

Orthocaps offre plusieurs choix de traitement selon les objectifs du traitement :

- Orthocaps® classic est indiqué dans les cas nécessitant des élastiques de classe II / III.
- Orthocaps® pro offre des nightCAPS qui sont destinés à être portés la nuit, associés à des aligneurs fins et souples, les dayCAPS. Il est indiqué dans les cas nécessitant des taquets ou des patins de friction.
- Orthocaps® MxD est destiné au traitement en denture mixte. À chaque phase, le plan de traitement est réévalué et un nouveau set-up est créé, facilitant ainsi la croissance et l'éruption dentaires.

Tout comme Invisalign, le praticien utilise une interface informatique pour communiquer avec le laboratoire. Le portail internet Orthocaps est proposé afin de déterminer le traitement à adopter. À cet effet, des photographies extra et intra-orales sont transmises à Orthocaps. Dans les 24 heures, le praticien saura si son patient peut être traité au moyen de ce système. Dans ce cas le praticien envoie :

- Les empreintes en polyvinylsiloxane (arcades maxillaire et mandibulaire), qui peuvent être remplacées par l'utilisation d'un scanner intra-oral afin d'obtenir des empreintes numériques.

[71] Khouri, « Erwachsenenbehandlung mit dem Twin Aligner-System ».
[72] Ortho Caps GmbH, « Qu'est-ce que le système Orthocaps ? »

Orthocaps® recommande le système TRIOS à cet effet, avec transfert des données à Orthocaps® directement.

- Un enregistrement d´occlusion en relation centrée avec du polyvinylsiloxane. Cet enregistrement n'est plus nécessaire si le praticien choisit le scanner intra-oral.
- Les radiographies panoramique et de profil.

Une proposition d'un traitement et un modèle numérique 3D (iSetup®) présentant les objectifs du traitement possibles sont transmis. Après évaluation, il n'est modifiable que par un technicien de laboratoire, à la demande du praticien. Une fois les objectifs de traitement définis, Orthocaps® lance la fabrication des gouttières en Allemagne qui seront livrées sous 2 à 3 semaines. Cependant, le travail informatique est réalisé au Pakistan. C'est la firme RMO qui commercialise ce produit.

Même si Wajeeh Khan a repris le concept Invisalign, il a apporté aussi des nouveautés :

- L'utilisation d'un jeu de deux aligneurs par étape de traitement. Le premier est fait d'un matériau dur et mince et est porté pendant la journée (hardCAPS) et l'autre est fabriqué à partir d'un matériau doux et épais et est porté la nuit (softoCAPS). Ce dernier est porté seul pendant la première semaine de chaque étape de traitement. Les hardCAPS sont fabriqués à partir de PET-G de 0,8 mm, les softoCAPS sont fabriqués à partir d'une double couche de polyuréthane et de PET-G de 2 mm. Ces aligneurs génèrent des forces d'intensité différente.

Figure 55 : Le système Twin Aligners

Source : Orthocaps, Espace professionnels, 2017

- Chacune des gouttières doit idéalement être portée 10 heures, soit un total de 20 heures par jour.
- Chaque jeu de gouttières doit être porté pendant une durée moyenne de 3 semaines, mais cette durée est variable selon les objectifs du traitement.
- Les aligneurs ne sont pas tous fournis dès le début, des empreintes sont reprises et/ou une réévaluation est faite tous les 6 mois.
- Les taquets sont préformés et intégrés dans le premier aligneur actif de jour. La souplesse et l'élasticité des matériaux améliorent l'efficacité des mouvements dentaires avec certains types

de taquets qui n'auraient pas pu être associés à des aligneurs rigides. Ils seront collés sur les dents en méthode indirecte.

- Orthocaps® a mis au point un nouveau taquet appelé les patins de friction. Ces auxiliaires se composent d'une surface rugueuse et plate, collée sur la dent afin d'augmenter la friction entre la face interne de l'aligneur et la dent. Ces surfaces très fines et pratiquement invisibles répondent mieux aux exigences de discrétion des patients.
- En 2016, Orthocaps® a présenté les taquets PTC (Preformed Tooth Colour Attachments). Lors de l'envoi d'un cas sur le portail Orthocaps®, le praticien peut choisir la teinte des dents. Les taquets seront préfabriqués en fonction de la teinte choisie et seront de ce fait pratiquement invisibles. Le matériau utilisé pour leur réalisation est un nano-céramique plus résistant à l´usure et plus stable que la résine composite.
- L'Orthocaps® Bite-Maintainer (Stabilisateur de l'occlusion) est un positionneur en silicone médical réalisé durant la phase finale du traitement. Pour les cas préalablement traités avec le système Orthocaps®, le praticien envoie une téléradiographie de profil, des empreintes en silicone et une cire d'occlusion en relation centrée. L'association de ces données permet, grâce au logiciel de CAO une construction respectant la physiologie et la fonction des articulations. Le Bite-Maintainer permet une finition précise de l'occlusion par rapport aux méthodes classiques. Il peut aussi servir d'appareil de contention.
- La technique hybride d'alignement (HAT) repose sur l'utilisation simultanée des aligneurs et de la technique linguale.

2.4.4.2 Considérations biomécaniques

Par crainte de piratage industriel, Orthocaps® ne communique pas ou peu ses données biomécaniques. Surtout après les nombreux procès qui l'ont opposé à Invisalign® concernant des brevets [73]. Si on ajoute à cela le manque d'articles et de livres qui traite le sujet, on se retrouve avec un manque de documents pour explorer le sujet. Néanmoins, on peut mettre en exergue quelques paramètres propres à Orthocaps®, qui associés, contribuent à améliorer les mouvements dentaires [74].

2.4.4.2.1 Interface dent/ aligneur

Afin de transmettre une force le plus efficacement possible, il est important de créer une interface qui permet la transmission de la force sans perte d'intensité et/ou sans altération de contrôle directionnel. Ceci nécessite que l'aligneur soit parfaitement ajusté, que la surface des dents et des zones interdentaires soit reproduite avec la plus grande précision. De ce fait, les dispositifs annexes comme

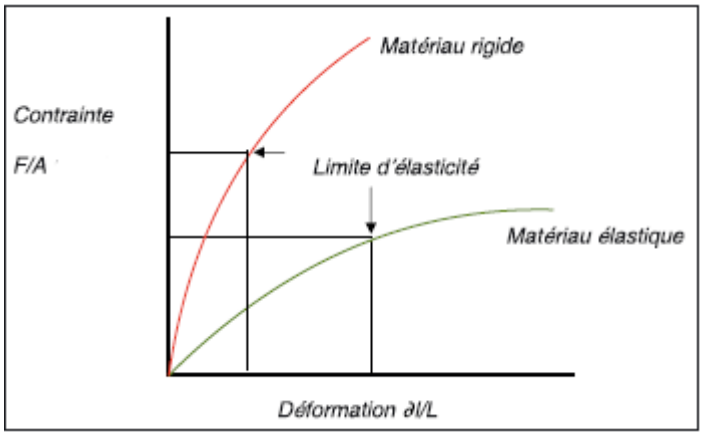
[73] Canada newswire, « Ortho Caps GmbH (Manufacturer of Orthocaps® aligners) wins favourable decision in patent dispute from federal patent court in Germany ».
[74] Khan, « Nouveaux concepts de traitement par aligneurs : le système Orthocaps ».

les points de pression, les encoches, les surépaisseurs, les butées ou autres structures comme les power ridges, utilisés par certains systèmes comme Invisalign®, sont bannis, car jugés contre-productifs. De plus, le système de balayage optique TRIOS, recommandé par Orthocaps®, offre une reproduction précise des surfaces dentaires. Ajoutons à cela, la technique de thermoformage sous haute pression, qui permet au matériau de s'immiscer dans les espaces interdentaires, ce qui accroît la surface de contact aligneur-dents.

2.4.4.2.2 Les matériaux thermoplastiques

L'aligneur Orthocaps® génère une force mesurée et continue pendant le déplacement dentaire grâce à sa déformation élastique et peut reprendre sa forme initiale lors du retrait. Cela signifie que l'aligneur reste actif. À l'inverse, un aligneur rigide subit une déformation plastique, il perd sa forme initiale et par conséquent n'est plus en mesure de déplacer les dents. Sur le diagramme ci-dessous, la contrainte (F/A) est mesurée le long de l'axe des ordonnées. Il s'agit de la force (F) en newtons (N) divisée par la surface (A) en m^2. La déformation du matériau est mesurée le long de l'axe des abscisses en pourcentage par rapport à l'état initial au repos. La déformation linéaire est calculée comme étant l'augmentation de la longueur (∂l) divisée par la longueur initiale (L). L'élasticité E d'un matériau est représentée par la pente de la courbe ; elle est calculée en divisant la contrainte par la déformation : E = (F/A) /(∂l/L).

Figure 56 : Différence de module d'élasticité un matériau élastique et un matériau rigide



Source : Khan W, Nouveaux concepts de traitement par aligneurs, 2014

Par conséquence, la force fournie par le matériau est directement proportionnelle à la surface, au module d'élasticité et à la déformation du matériau, à la condition que sa limite d'élasticité ne soit pas dépassée : F = AE(∂l/L)

2.4.4.2.3 Les auxiliaires

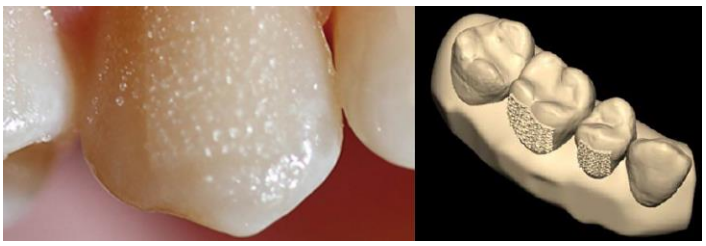
- Les taquets classiques ressemblent aux ceux des autres systèmes. Cependant, Orthocaps® avance que l'utilisation de matériaux souples et élastiques combiné à ces taquets génèrent des mouvements dentaires plus précis et contrôlés par rapport à ses concurrents, notamment, pour les mouvements de version, d'égression et de rotation [75].

Figure 57 : Les taquets utilisés par Orthocaps

Source : Khan W, Nouveaux concepts de traitement par aligneurs, 2014

- Les patins de friction (Frictions Pads) sont de conception très fine (0,5 mm) et avec une surface texturée, ils permettent d'augmenter la friction entre la face interne de l'aligneur et la surface de la dent, ce qui améliore l'efficacité de la transmission de la force. Leur mise en place sur la dent se fait par un collage indirect. Une étude expérimentale menée par Wajeeh Khan, a montré une augmentation significative de la force de traction lors du retrait des aligneurs quand des patins de frictions sont utilisés [76].

Figure 58 : Patins de friction (à droite vue intra-orale, à gauche modèle CFAO)



Source : Khan W, La technique hybride d'alignement « Hybrid-aligner-Therapie » (HAT) – Les défis esthétiques des malocclusions dentaires complexes - Partie 1, 2016

[75] Khan, « Orthodontic treatment using a new twin aligner system (Orthocaps®) ».
[76] Khan et Kmuf, « Friction pads : eine alternative zu attachments in der alignertherapie ».

- Les orthodontistes combinent depuis longtemps les appareils multiattaches avec les gouttières pour compenser certaines des limites associées aux deux techniques. Le Dr Wajeeh Khan a présenté, en 2016, La technique hybride d'alignement « Hybrid-Aligner-Therapie-Konzept » (HAT) qui repose sur l'idée suivante : dès la planification du traitement par aligneurs, effectuer une partie des déplacements prévus grâce à un appareil fixe lingual. Cette méthode permet donc l'utilisation simultanée de deux appareils conceptuellement et mécaniquement différents, mais complémentaires. Selon Wajeeh Khan la limite du traitement par aligneur tient à la difficulté d'appliquer les forces orthodontiques avec précision et sans perte. Des attaches linguales sont donc nécessaires pour transmettre les forces exercées par les gouttières de façon ciblée sur les dents. Une grande partie des mouvements sont obtenus grâce aux gouttières tandis que les accessoires servent essentiellement de soutien [77].

[77] Khan, « La technique hybride d'alignement « Hybrid-Aligner-Therapie » (HAT) : les défis esthétiques des malocclusions dentaires complexes. Partie 1, Le concept HAT d'orthocaps® ».

3 : Cas cliniques

3.1 Présentation

- Patiente D.O âgée de 37 ans.
- Motif de consultation : sourire inesthétique
- Anamnèse médicale : sans antécédents médico-chirurgicaux
- Anamnèse dentaire : bonne santé dentaire et parodontale
- Déglutition primaire

3.2 Photos exobuccales

Figure 59 : Photos exobuccales avant le traitement

- Visage ovale, symétrique
- Les trois étages faciaux sont égaux.
- Le plan de Francfort cutané, le plan bi-pupillaire et le plan d'occlusion sont parallèles.
- Les lèvres se touchent au repos.
- Légère exposition de la gencive lors du sourire.
- Profil convexe, trans-frontal

3.3 Photos endobuccales

Figure 60 : Photos endobuccales avant le traitement

Ces photos dévoilent une classe II molaire et canine à droite (3 mm), une DDM avec encombrement maxillaire et mandibulaire marqué dans le secteur incisivo-canin. Le surplomb antérieur est de 6 mm.

3.4 Examens radiologiques et étude céphalométrique

Figure 61 : Radio panoramique

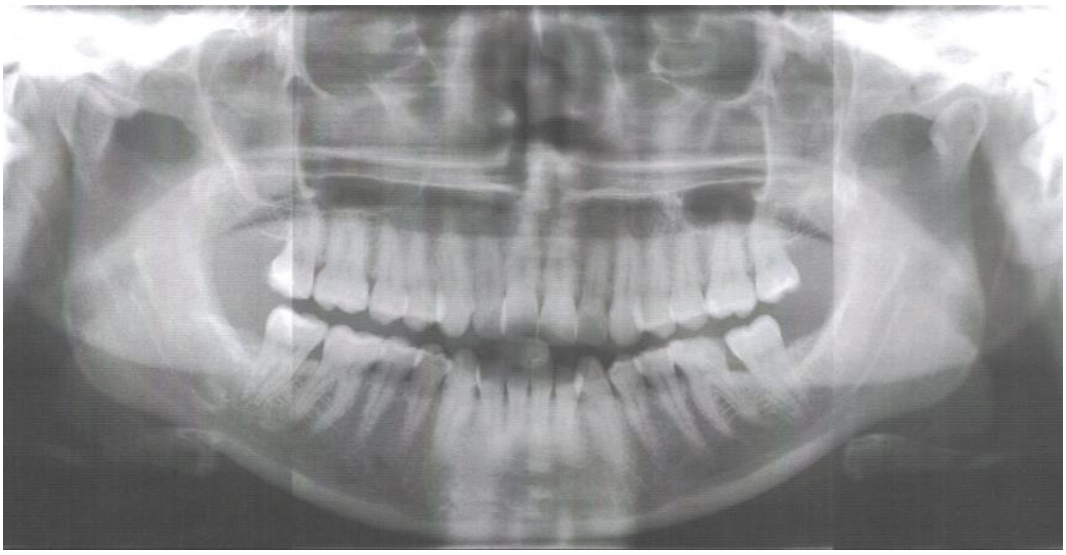
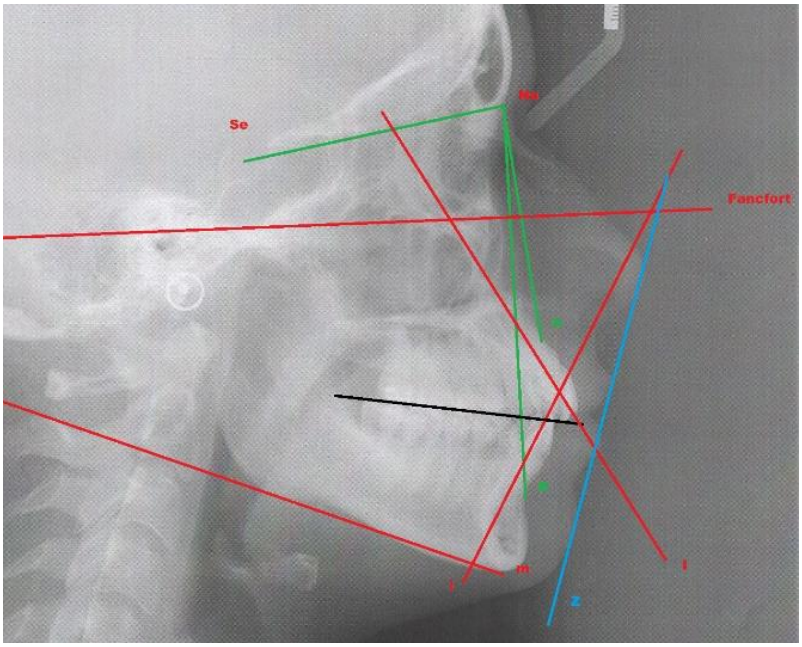


Figure 62 : Téléradiographie du profil et le tracé céphalométrique



- Angle Z = 82°→ bonne harmonie faciale
- Triangle de Tweed :
    - Angle FMIA = 58°
    - Angle IMPA = 99° → vestibuloversion des incisives inférieures
    - Angle FMA = 23° → normodivergent
- Analyse squelettique :
    - Angle SNA = 86° → promaxillie
    - Angle SNB = 81° → position mandibulaire antéropostérieure dans la norme de Tweed.
    - Angle ANB = 5° → Classe II squelettique
    - AoBo = 2 mm → non confirmation de la classe II
- Analyse dento-squelettique:
    - i/I = 116° → angle inter-incisif fermé
    - I/F = 121° → vestibuloversion de l'incisive maxillaire

3.5 Diagnostic

- Classe II d'Angle subdivision droite DDM sous forme d'encombrement et de vestibuloversion selon Tweed.
- Classe II de Balard non confirmée par AoBo sur un profil normodivergent.

3.6 Objectifs du traitement

- Objectifs squelettiques : Correction de la classe II squelettique.
- Objectifs dento-parodontaux : L'obtention d'une classe I d'angle à droite, correction du surplomb et de la DDM.
- Objectifs fonctionnels : Correction de la déglutition primaire.
- Objectifs esthétiques : Rétablir un sourire harmonieux.

3.7 Plan de traitement

Invisalign propose 38 paires d'aligneurs et 3 paires d'aligneurs d'hypercorrection avec stripping et port d'élastiques intermaxillaires (EIM) à droite. Le traitement est de 19 mois :

- Stripping et pose des premiers aligneurs sans taquets à l'aligneur 1

- Collage des taquets et d'un bouton métallique en vestibulaire de la 46 pour le port des EIM à partir de l'aligneur 2. Le praticien confie les aligneurs numéro 2,3,4,5 et 6 à la patiente et une lettre de liaison pour débuter les séances de rééducation chez un orthophoniste.

- Les séances suivantes sont espacées en moyenne de 10 semaines, elles consistent à contrôler l'avancement du traitement en comparant avec le ClinCheck®, effectuer les strippings nécessaires, et confier les aligneurs.

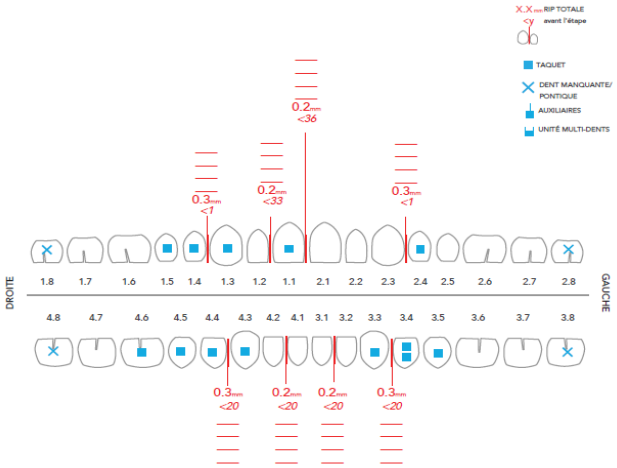
- Les objectifs sont atteints, la patiente est satisfaite, pas besoin de porter les aligneurs d'hyper correction. Le praticien colle des contentions fixes maxillaire et mandibulaire et prend une empreinte optique pour la fabrication des contentions amovibles Vivera®.

3.8 ClinCheck®

Figure 63 : ClinCheck® au début du traitement avec les taquets

3.9 La charte de stripping et des attachements

Figure 64 : La charte de stripping et des attachements



3.10 Résultats

Figure 65 : Photos à la fin du traitement

Figure 66 : ClinCheck® à la fin du traitement

Tous les objectifs occlusaux et dento-parodontaux sont atteints. Il est remarqué que la limite gingivale de la 11 est plus haute que celle de la 21 (en accord avec le ClinCheck final), mais cela ne pose pas un problème esthétique pendant le sourire. Dans une lettre de liaison, l'orthophoniste a confirmé que Mme D.O a retrouvé une déglutition normale.

Conclusion

L'arrivée des aligneurs orthodontiques sur le marché est considérée comme une véritable révolution. Leur confort et leur esthétique dépassent de loin ceux de la technique multiattaches vestibulaire, et leur prix est moins cher que l'orthodontie linguale qui reste difficile à appréhender pour le praticien.
De plus, les aligneurs facilitent l'hygiène buccale, notamment chez les adolescents, ce qui permet la préservation de la santé parodontale pendant la thérapie orthodontique. Une étude préliminaire[78] suggère que « pendant 12 mois de thérapie orthodontique, les adolescents traités avec les aligneurs démontrent un meilleur respect de l'hygiène buccale et présentent moins de réactions inflammatoires que leurs pairs avec des appareils fixes ».
Cependant, dans cette thèse, nous avons constaté les limites biomécaniques des aligneurs :

- La fermeture des espaces d'extraction
- Le mouvement de translation pure
- Le mouvement d'extrusion et ingression
- Les mouvements de grande amplitude comme pour la rotation
- Le contrôle des mouvements parasites notamment ceux des racines dentaires
- L'ajustement de l'occlusion

Ce qui nous amène à penser que la technique multi-attaches aura encore sa place dans le cabinet dentaire. Le praticien, dans ses démarches diagnostique et thérapeutique, doit prendre en considération les limites des aligneurs pour faire le choix le plus bénéfique pour son patient.
Malgré tout, le champ d'action des aligneurs inclut un grand nombre de cas cliniques. De plus, différents systèmes, bien conscients de leurs limites, investissent dans l'évolution de leurs techniques dans le but d'améliorer leur prédictibilité. C'est le nouveau défi fixé par les sociétés concernées[79].

[78] Abbate et al., « Periodontal health in teenagers treated with removable aligners and fixed orthodontic appliances ».
[79] Bowman, « Improving the predictability of clear aligners ».

Bibliographie

Abbate, G. M., M. P. Caria, P. Montanari, C. Mannu, G. Orrù, A. Caprioglio, et L. Levrini. « Periodontal health in teenagers treated with removable aligners and fixed orthodontic appliances ». *Journal of orofacial orthopedics* 76, nº 3 (2015): 240. doi:10.1007/s00056-015-0285-5.

Align Technology. « Encombrement ». *Invisalign online academy*. Consulté le 15 mars 2018. https://learn.invisalign.com/crowding.

———. « Invisalign® G4 enhancements : engineered to deliver even better clinical results », 2013. https://www.invisalign.co.nz/doctor/doc/brochures/G4E_brochure.pdf.

Anbuselvan, G. J., K. P. Senthil Kumar, S. Tamilzharasi, et M. Karthi. « Essix appliance revisited ». *National journal of integrated research in medicine* 3, nº 1 (2012): 125‑38.

Armbruster, P., J. J. Sheridan, et P. Nguyen. « An Essix intrusion appliance ». *Journal of clinical orthodontics* 37, nº 8 (2003): 412‑16.

Bonnefont, R., et F. Guyomard. « Rappel des notions de mécaniques utilisables en orthopédie dento-faciale ». *Revue d'orthopédie dento-faciale* 13, nº 1 (1979): 5‑25. doi:10.1051/odf/1979001.

Bowman, S. J. « Improving the predictability of clear aligners ». *Seminars in orthodontics* 23 (2017): 65‑75. doi:10.1053/j.sodo.2016.10.005.

Canada newswire. « Ortho Caps GmbH (Manufacturer of Orthocaps® aligners) wins favourable decision in patent dispute from federal patent court in Germany ». *Canada newswire*, 9 mai 2014. https://www.newswire.ca/news-releases/ortho-caps-gmbh-manufacturer-of-orthocaps-aligners-wins-favourable-decision-in-patent-dispute-from-federal-patent-court-in-germany-514274431.html.

Cassarella, D., et J. Pair. « Closure of a minor midline diastema using Essix trays ». *Journal of clinical orthodontics* 45, nº 4 (2011): 229‑229.

Chazalon, J. F. « Invisalign®, 15 ans après, est-il devenu une véritable alternative au traitement multi-attaches ? » *Revue d'orthopédie dento-faciale* 50, nº 3 (2016): 275‑301. doi:10.1051/odf/2016027.

Echarri Lobiondo, P. « CA® Clear-Aligner therapeutic possibilities ». *Dental news* 21, nº 2 (2014). http://www.dentalnews.com/2014/08/14/ca-clear-aligner-therapeutic-possibilities/.

———. *Clear aligner advanced*. Badalona: Ladent, 2016.

———. *Clear-Aligner®*. Madrid: Ripano, 2013.

Echarri Lobiondo, P., et J. Echarri. « Updating the CA Clear Aligner therapy ». *Dental news* 24, nº 4 (2017). http://www.dentalnews.com/2018/01/19/updating-ca-clear-aligner-therapy/.

Faure, Jacques. *Biomécanique orthodontique*. Les Ulis: EDP Sciences, 2013.

Garino, F., G. B. Garino, et T. Castroflorio. « The iTero intraoral scanner in Invisalign treatment : a two-year report ». *Journal of clinical orthodontics* 48, nº 2 (2014): 98‑106.

Gomez, J. P., F. M. Peña, V. Martínez, D. C. Giraldo, et C. I. Cardona. « Initial force systems during bodily tooth movement with plastic aligners and composite attachments : a three-dimensional finite element analysis ». *The Angle Orthodontist* 85, nº 3 (2015): 454‑60. doi:10.2319/050714-330.1.

Khan, W. « La technique hybride d'alignement « Hybrid-Aligner-Therapie » (HAT) : les défis esthétiques des malocclusions dentaires complexes. Partie 1, Le concept HAT d'orthocaps® ». *Revue d'orthodontie clinique*, nº 14 (2016): 10‑14. doi:10.1051/roc/20160510.

———. « Nouveaux concepts de traitement par aligneurs : le système Orthocaps ». *L'orthodontie française* 85, nº 3 (2014): 253‑64. doi:10.1051/orthodfr/2014011.

———. « Orthodontic treatment using a new twin aligner system (Orthocaps®) ». *Informationen aus orthodontie & kieferorthopädie* 41 (2009): 175‑82. doi:10.1055/s-0029-1224567.

Khan, W., et B. Kmuf. « Friction pads : eine alternative zu attachments in der alignertherapie ». *ZWP online*, 27 février 2014. https://www.zwp-online.info/fachgebiete/kieferorthopaedie/aesthetik/friction-pads-eine-alternative-zu-attachments-der-alignertherapie.

Khouri, N. « Erwachsenenbehandlung mit dem Twin Aligner-System ». *Kieferorthopädie nachrichten*, nº 4 (2010): 14.

Kim, T. W. « Clear aligner : an alternative orthodontic appliance ». *Andersson & Gaugel*, 2007. https://www.andersson-gaugel.de/pdf/SD_Clear-Aligner_klein.pdf.

Kravitz, N. D., B. Kusnoto, E. BeGole, A. Obrez, et B. Agran. « How well does invisalign work ? : a prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with invisalign ». *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 135, nº 1 (2009): 27‑35. doi:10.1016/j.ajodo.2007.05.018.

Langlade, M. *Thérapeutique orthodontique*. Paris: Maloine S. A. Éditeur, 1986.

Morton, J., M. Derakhshan, S. Kaza, et C. Li. « Design of the Invisalign system performance ». *Seminars in orthodontics* 23, nº 1 (2017): 3‑11. doi:10.1053/j.sodo.2016.10.001.

Nabbout, F., J. Faure, P. Baron, J. Braga, et J. Treil. « L'ancrage dentaire en orthodontie : les données du scanner ». *International orthodontics* 2, nº 3 (2004): 241‑56. doi:10.1016/S1761-7227(04)95550-7.

Ortho Caps GmbH. « Qu'est-ce que le système Orthocaps ? » *Ortho Caps GmbH*. Consulté le 20 avril 2018. https://www.orthocaps.fr/index.php/quest-ce-que-le-systeme-orthocaps.html.

Park, J. H., et T. W Kim. « Deep-bite correction using a clear aligner and intramaxillary elastics ». *Journal of clinical orthodontics* 43, nº 3 (2009): 152‑57.

———. « Open-bite treatment utilizing clear removable appliances with intermaxillary and intramaxillary elastics ». *World journal of orthodontics* 10, nº 2 (2009): 130‑34.

Philippe, J. *Histoire de l'orthodontie*. Paris: Éditions SID, 2003.

Ponitz, R. J. « Invisible retainers ». *American journal of orthodontics* 59, nº 3 (1971): 266‑72. doi:10.1016/0002-(71)90099-6.

Raintree Essix Publication. *Essix® appliance technology update : a scientific journal on the fabrication, alteration & retention*. Los Angeles: Raintree Essix, 2003. http://ruhbakhsh-ortholab.com/wp-content/uploads/ESSIX.pdf.

Remensnyder, O. Dental massage device. US1691785 A, filed 14 septembre 1925, et issued 13 novembre 1928. https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=19281113&DB=EPODOC&locale=en_EP&CC=US&NR=1691785A&KC=A&ND=5.

———. Orthodontic appliance. US2479780 A, filed 23 novembre 1945, et issued 23 août 1949. https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=19490823&DB=EPODOC&locale=en_EP&CC=US&NR=2479780A&KC=A&ND=4.

Rinchuse, D. J., D. J. Rinchuse, et C. Dinsmore. « Elastic traction with Essix-based anchorage ». *Journal of clinical orthodontics* 36, nº 1 (2002): 46‑48.

Schupp, W., et J. Haubrich. *Aligner orthodontics : diagnostics, biomechanics, planning and treatment*. London: Quintessence Publishing Co. Ltd, 2016.

Sheridan, J. J., P. Armbruster, P. Nguyen, et S. Pulitzer. « Tooth movement with Essix mounding ». *Journal of clinical orthodontics* 38, nº 8 (2004): 435‑41.

Simon, M., L. Keilig, J. Schwarze, B. A. Jung, et C. Bourauel. « Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners : incisor torque, premolar derotation, and molar distalization ». *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 145, nº 6 (2014): 728‑36. doi:10.1016/j.ajodo.2014.03.015.

Wong, B. H. « Invisalign A to Z ». *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 121, nº 5 (2002): 540‑41. doi:10.1067/mod.2002.123036.

Table des figures

Figure 1 : Une gouttière Biostar ® de contention 5
Figure 2 : Moment de force 8
Figure 3 : Mouvement de version 11
Figure 4 : Mouvement de translation 12
Figure 5 : Le mouvement d'égression et le mouvement d'ingression 12
Figure 6 : Mouvement de torque 13
Figure 7 : Différentes pinces Hillard 16
Figure 8 : Couches de composite ajoutées pour un mouvement séquentiel des dents 17
Figure 9 : Mouvement de translation 18
Figure 10 : Mouvement de torque radiculo-vestibulaire 18
Figure 11 : Le mouvement de version 19
Figure 12 : La forme de la résine (en gris) pour les dents mandibulaires et maxillaires 20
Figure 13 : Une encoche de 1 à 2 mm sur le bord incisif créant une force intrusive 20
Figure 14 : Des élastiques pour l'intrusion de la 16 et de la 25 21
Figure 15 : Extrusion d'une 21 21
Figure 16 : Rotation mono marginale 22
Figure 17 : Rotation autour d'un axe dentaire 23
Figure 18 : Des élastiques de CL III 23
Figure 19 : Fermeture d'un diastème avec un élastique 24
Figure 20 : VECTOR® 40 (L × H × L : 3,6 × 2,5 × 19 mm) 25
Figure 21 : Set ECHARRI PST 26
Figure 22 : Version disto-mésiale de la racine de la 12 27
Figure 23 : CA® Bubbles et CA® Bubbles activable 28
Figure 24 : Mouvement de version avec la pince Tip 3 28
Figure 25 : Distalisation des prémolaires et des canines avec les power grip 2 et 3 29
Figure 26 : Le kit de distalisation de CA® 29
Figure 27 : Dispositif d'égression 30
Figure 28 : Utilisation de CA Clear Aligner Soft ou Medium (à gauche) et CA Clear Aligner Hard (à droite) 31
Figure 29 : Egression avec des élastiques inter-arcades (à gauche) et intra-arcades (à droite) 32
Figure 30 : Intrusion d'une incisive centrale 33

Figure 31 : Dispositif d'ingression d'une molaire 33
Figure 32 : Désocclusion molaire pendant le mouvement d'ingression 34
Figure 33 : Mouvement de rotation avec CA soft ou medium à gauche et hard à droite 35
Figure 34 : CA Power Grip 6 et 7 36
Figure 35 : Mouvement de torque avec les power grip 4 et 5 37
Figure 36 : Mouvement de torque avec la pince Tip 4 37
Figure 37 : Dispositif inter-arcade pour corriger une Classe II 38
Figure 38 : L'appareil Carriere Distalizer corrigeant une Classe II 38
Figure 39 : Des contacts serrés et une zone de pression linguale 41
Figure 40 : Des taquets de supraclusion optimisés 41
Figure 41 : Des rampes d'occlusion de précision 42
Figure 42 : Des attachement G4 sur la 11 et la 21 pour fermer le diastème 42
Figure 43 : Des « power Ridge » au niveau des quatre incisives supérieures 43
Figure 44 : Les taquets d'égression multi-dents (des forces extrusives sont appliquées aux dents antérieures (en bleu) et des forces intrusives sont appliquées aux dents postérieures (en blanc)) 44
Figure 45 : Egression d'une molaire avec le taquet d'égression optimisé 44
Figure 46 : Le taquet de rotation optimisé 45
Figure 47 : Rotation avec égression et rotation avec ingression 45
Figure 48 : Deux taquets de contrôle radiculaire optimisés 46
Figure 49 : Un taquet de contrôle radiculaire optimisé à gauche et un point de pression à droite 46
Figure 50 : Deux taquets de contrôle radiculaire optimisés 47
Figure 51 : Un taquet de contrôle radiculaire optimisé à gauche et un point de pression à droite 47
Figure 52 : Un taquet multi-plans optimisé 48
Figure 53 : Un taquet multi-plans optimisé sur la face vestibulaire de la latérale et un point 48
de pression sur le face platine de l'aligneur 48
Figure 54 : Fermeture d'un espace d'extraction avec une unité multi-dents G6+ 49
Figure 55 : Le système Twin Aligners 50
Figure 56 : Différence de module d'élasticité un matériau élastique et un matériau rigide 52
Figure 57 : Les taquets utilisés par Orthocaps 53
Figure 58 : Patins de friction (à droite vue intra-orale, à gauche modèle CFAO) 53
Figure 59 : Photos exobuccales avant le traitement 55
Figure 60 : Photos endobuccales avant le traitement 56
Figure 61 : Radio panoramique 56
Figure 62 : Téléradiographie du profil et le tracé céphalométrique 57
Figure 63 : ClinCheck® au début du traitement avec les taquets 58

Figure 64 : La charte de stripping et des attachements 59
Figure 65 : Photos à la fin du traitement 59
Figure 66 : ClinCheck® à la fin du traitement 60

Vu, le Directeur de thèse

Vu, le Doyen de la Faculté de Chirurgie dentaire
de l'Université Paris Descartes

Docteur Agnès KAMOUN-GOLDRAT

Professeur Louis MAMAN

Vu, le Président de l'Université Paris Descartes
Professeur Frédéric DARDEL
Pour le Président et par délégation,

Le Doyen Louis MAMAN

Biomécanique des aligneurs en orthodontie

Résumé :

Depuis quelques années, les aligneurs se sont imposés comme une alternative de traitement des malocclusions dentaires face à la méthode classique des multiattaches. Cela est devenu possible grâce à leurs qualités esthétiques, leur confort (hygiène facile, absence de contrainte alimentaire spécifique…) et leur amovibilité. Ces arguments séduisent des patients adultes mais aussi des adolescents. En effet, avec les avancées technologiques, les critères de sélection se sont élargis permettant ainsi d'intégrer les adolescents dans les patients éligibles. Mais que savons-nous aujourd'hui de la biomécanique des aligneurs ? Elle diffère de la biomécanique du système multiattaches par plusieurs aspects. De par l'absence d'un couple reproductible arc/gorge, sa complexité est accrue. Par des points d'application sur une surface dentaire la diversité anatomique dentaire influence considérablement les forces délivrées (point d'application, direction, intensité). De plus, au sein de la famille des aligneurs, les principes biomécaniques diffèrent d'une technologie à une autre. Nous étudierons les principaux systèmes utilisés à l'heure actuelle : le système Essix®, le système CA® Clear Aligner, l'Align technology (Invisalign®), le système OrthoCAPS (TwinAligner®). Pour mettre en évidence la maîtrise de la biomécanique par le praticien, nous exposerons un cas clinique traité par des aligneurs Invisalign®.

Discipline :

Orthopédie dento-faciale

Mots clés fMesh et Rameau :

Appareils orthodontiques amovibles -- Dissertations universitaires ; Phénomènes biomécaniques -- Dissertations universitaires ; Orthodontie -- Appareils et matériel -- Thèses et écrits académiques ; Dents -- Proprietés mécaniques -- Thèses et écrits académiques

Université Paris Descartes

Faculté de Chirurgie dentaire

1, rue Maurice Arnoux

92120 Montrouge