



HAL
open science

Les aligneurs orthodontiques : nouvel outil thérapeutique, utilisation au cabinet et perspectives

Pierre-Loup Cellier

► **To cite this version:**

Pierre-Loup Cellier. Les aligneurs orthodontiques : nouvel outil thérapeutique, utilisation au cabinet et perspectives. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02170054

HAL Id: dumas-02170054

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02170054v1>

Submitted on 1 Jul 2019

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

U-S-PC
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

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2019

N° 039

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 28 mai 2019

Par

Pierre-Loup CELLIER

Les aligneurs orthodontiques : nouvel outil thérapeutique, utilisation au cabinet et perspectives

Dirigée par Mme le Docteur Agnès Kamoun-Goldrat

JURY

Mme le Professeur Tiphaine Davit-Béal

Président

Mme le Docteur Agnès Kamoun-Goldrat

Assesseur

M. le Docteur Jean-Claude Tavernier

Assesseur

Mme le Docteur Chérifa Ammoura

Assesseur



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 DURSUN Mme VITAL	M. COURSON Mme JEGAT Mme SMAIL-FAUGERON Mme VANDERZWALM
	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE		Mme BENAHMED M. DUNGLAS Mme KAMOUN-GOLDRAT Mme LE NORCY
	PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE	Mme FOLLIGUET M. PIRNAY	Mme GERMA 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. ARRETO Mme BARDET (MCF) Mme CHARDIN M. FERRE M. LE MAY
3. RÉHABILITATION ORALE	DENTISTERIE RESTAURATRICE ENDODONTIE	Mme BOUKPESSI Mme CHEMLA	Mme BERÈS Mme BESNAULT M. BONTE Mme COLLIGNON M. DECUP Mme GAUCHER
	PROTHÈSES		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, BIOMATÉRIEAUX	M. SALMON	M. ATTAL Mme BENBELAID Mme BENOÎT A LA GUILLAUME (MCF) M. BOUTER M. CHARRIER M. CHERRUAU M. FLEITER Mme FRON CHABOUIS Mme MANGIONE 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 04 septembre 2018			

Remerciements

À Mme le Professeur Tiphaine Davit-Béal

Docteur en Chirurgie dentaire

Spécialiste qualifiée en Médecine bucco-dentaire

Ancien Interne des Hôpitaux

Docteur de l'Université Pierre et Marie Curie

Habilitée à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Je vous remercie vivement de l'honneur que vous m'avez fait en acceptant la présidence de ce jury de thèse d'exercice. Je suis très heureux de pouvoir vous témoigner ma reconnaissance pour la sympathie et le dévouement que vous m'avez apportés tout au long de ma formation. Merci de votre implication au sein de l'hôpital Charles Foix et de la qualité de la formation en pédodontie que vous m'avez transmise aussi bien théorique que clinique. Que cette thèse soit l'occasion de vous exprimer ma reconnaissance et mon profond respect.

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

Je vous adresse mes remerciements les plus sincères pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la direction de cette thèse. Merci également pour la qualité de vos enseignements durant mon cursus universitaire. Ces quelques lignes sont bien peu pour exprimer toute ma reconnaissance. Je vous remercie de votre disponibilité, de votre réactivité, de vos précieux conseils et des corrections de qualité que vous avez apportés à cette thèse qui n'aurait pas vu le jour sans votre aide. Veuillez trouver ici, le témoignage de toute ma gratitude ainsi que mon respect le plus profond.

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

Merci pour votre gentillesse, votre dévouement et votre investissement quotidien auprès des étudiants. L'ensemble de mon cursus à vos côtés et tout particulièrement les matinées à l'hôpital Charles Foix au sein de l'équipe de gériatrie que vous dirigez ont été un réel plaisir. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde considération et de ma plus grande estime.

À Mme le Docteur Chérifa Ammoura

Docteur en Chirurgie dentaire

Spécialiste qualifiée en Orthopédie dento-faciale

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Qui me fait l'honneur de siéger dans ce jury de thèse. Un grand merci pour votre implication, votre soutien, votre gentillesse, la transmission pédagogique de votre expérience clinique et théorique pendant mes années à l'hôpital Charles Foix. J'ai beaucoup appris à vos côtés, merci infiniment. Votre enseignement n'a eu d'effet que d'amplifier mon attrait pour l'orthodontie.

Remerciements personnels :

À mes parents, pour m'avoir absolument tout donné :l'éducation, l'amour, le soutien et la motivation nécessaires afin de réaliser mon rêve d'enfant.

À ma mère, qui m'a porté et soutenu dans toute ma vie et qui n'a jamais douté de moi. Je n'oublierai jamais ta présence à mes côtés lors du concours. Si j'en suis là aujourd'hui, c'est grâce à toi.

À mon père, qui a toujours souhaité que je puisse réaliser le métier que j'avais choisi et qui m'a aidé à surmonter les épreuves qui se dressaient devant moi pour y arriver.

À Guilhem, mon frère, et Solenne, ma soeur, qui suivent mon cursus depuis le début et qui ont su m'apporter tout leur soutien notamment dans les moments difficiles.

À Nollan mon petit frère qui m'apporte énormément de bonheur et qui malgré son jeune âge a su me rappeler quand il fallait que j'aille travailler.

À Pascal qui m'a apporté son aide dans mes études et dans la vie.

À Chloé avec qui je partage ma vie, qui n'a jamais arrêté de croire en moi et qui me soutient au quotidien. Tu sais me redonner le sourire quelle que soit la situation. Merci d'être là pour moi. Je t'aime.

À mes grands-parents qui m'ont apporté leur aide et leurs encouragements.

À Florian, mon cousin et Amandine, ma cousine pour leurs encouragements et ces moments de détente qui m'ont permis de relâcher la pression quand c'était nécessaire.

À toute ma famille, mes proches et tous mes amis qui me soutiennent.

Au Docteur Claudine Phily-grémaux et à son assistante Nelly Bernier qui ont fait naître en moi ce rêve de devenir un jour orthodontiste et qui m'ont donné l'envie de soigner et d'aider autrui en leur rendant un sourire. Merci pour tout, je suis comblé que vous m'appreniez ce beau métier après m'avoir soigné.

Au Docteur Marc Werly et à son assistante Valérie Vinette pour m'avoir adopté dans leur cabinet et m'avoir appris tant de choses au commencement de ma vie professionnelle active.

À mon binôme Michel Khetsomphou, pour nos années cliniques à l'hôpital Charles Foix. Merci pour tout ce que tu m'as appris et la complémentarité que tu as sue m'apporter.

J'exprime ma plus sincère reconnaissance :

À tous les enseignants qui m'ont appris l'art dentaire au sein de la faculté de chirurgie dentaire de Montrouge (Paris Descartes) et de l'hôpital Charles Foix ainsi qu'à tout son personnel.

Table des matières

INTRODUCTION	4
1 : LES ALIGNEURS	5
1.1. CRITERES INFLUENÇANT LES FORCES DELIVREES PAR LES ALIGNEURS	7
1.1.1. Épaisseur du matériau	7
1.1.2. Type de polymère utilisé.....	7
1.1.3. Mode de thermoformage	8
1.1.4. Complexité de la morphologie dentaire	8
1.1.5. Durée d'activation	9
1.1.6. Synthèse	9
1.2. DIFFICULTES LIEES A L'ETUDE BIOMECANIQUE DES ALIGNEURS	10
2 : DIAGNOSTIC, OBJECTIFS ET PLAN DE TRAITEMENT	11
2.1. DIAGNOSTIC.....	11
2.1.1. Anamnèse.....	14
2.1.2. Examen extra-oral	14
2.1.3. Examen intra-oral.....	15
2.1.4. Examen occluso-fonctionnel.....	16
2.1.5. Modèles d'études	17
2.1.6. Examens radiographiques	17
2.2. SYNTHÈSE DIAGNOSTIQUE ET OBJECTIFS DE TRAITEMENT	17
2.3. PLAN DE TRAITEMENT	17
3 : PERTINENCE DES ALIGNEURS	19
3.1. INDICATIONS, CONTRE-INDICATIONS ET LIMITES DE TRAITEMENT	19
3.1.1. Indications”	19
3.1.2. Contre-indications et limites de traitement.....	20
3.2. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES ALIGNEURS.....	22
3.2.1. Avantages.....	22
3.2.2. Inconvénients.....	24
3.3. ANALYSE COMPARATIVE : ALIGNEURS VERSUS MULTI-ATTACHES	26
3.3.1. Transmission de l'information entre l'appareil et la dent	26
3.3.2. Nivellement et friction	27
3.3.3. Efficacité de traitement	27
3.3.4. Santé parodontale	28

3.3.5. Santé dentaire	29
3.3.6. Qualité de vie.....	31
3.3.7. Diminution du nombre de rendez-vous et de leur durée	32
4 : LE SYSTEME INVISALIGN®	33
4.1. DESCRIPTION	33
4.2. PRINCIPE.....	33
4.3. INVISALIGN GO®	33
4.4. INVISALIGN TEEN®	34
4.5. LE VIRTUAL INVISALIGN PRACTITIONNER® (VIP) / INVISALIGN DOCTOR SITE (IDS) : BUREAU INVISALIGN® EN LIGNE / CABINET VIRTUEL INVISALIGN®	35
4.5.1. Description.....	35
4.5.2. Principe : Les enregistrements cliniques.....	35
4.5.3. Charte de prescription thérapeutique	38
4.6. STRATEGIE DE TRAITEMENT : LE CLINCHECK®	39
4.6.1 Le séquençage	39
4.6.2. Contrôle des déplacements dentaires	40
4.6.3. Contrôle de l'espace disponible	41
4.6.4. Contrôle de la perte d'ancrage	42
5 : LES ATTACHEMENTS : MATERIAUX ET BIOMECANIQUE	44
5.1. LES ATTACHEMENTS.....	44
5.2. LA BIOMECANIQUE DES MOUVEMENTS DENTAIRES AVEC LES TAQUETS CONVENTIONNELS INVISALIGN®	47
5.2.1. L'égression	47
5.2.2. L'ingression	47
5.2.3. La rotation	47
5.2.4. La translation.....	48
5.2.5. Le contrôle du torque	48
5.2.6. Le parallélisme des racines.....	48
6 : LA CONTENTION	50
7 : PERSPECTIVES.....	51
7.1. THERMOFORMAGE DES ALIGNEURS A PARTIR DU SEQUENÇAGE DES MODELES DIRECTEMENT AU CABINET	51
7.1.1. Avantages.....	51
7.1.2 Inconvénients.....	54
7.2. USINAGE DES ALIGNEURS DIRECTEMENT DEPUIS LE LOGICIEL PERMETTANT UNE SIMULATION THERAPEUTIQUE EN CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR	56
CONCLUSION.....	58

BIBLIOGRAPHIE	60
TABLE DES FIGURES.....	63
TABLE DES TABLEAUX.....	65

Introduction

Les patients faisant appel à l'orthodontie recherchent un traitement rapide, avec un appareil esthétique. Ceci est particulièrement vrai pour les adultes dont la demande en traitement orthodontique ne cesse d'augmenter, et qui refusent la visibilité d'un traitement multi-attaches.

Des alternatives thérapeutiques comme les brackets céramiques ou l'orthodontie linguale ont été développées, et plus récemment, l'utilisation des gouttières thermoformées ou aligneurs. Le déplacement dentaire ne se fait plus par brackets et arcs, mais par le changement successif de gouttières transparentes thermoformées ou aligneurs avec la présence d'attachements.

Les aligneurs les plus utilisés actuellement dans le monde sont ceux développés par Align Technology® (Santa Clara, Californie) sous le nom d'Invisalign®.

La ligne conductrice du système Invisalign® est de pouvoir effectuer une planification du traitement envisagé à l'avance.

Un logiciel appelé ClinCheck® permet de visualiser les étapes du traitement jusqu'au résultat final par une modélisation en 3D des mouvements dentaires.

Suite à cela, afin de pouvoir réaliser les objectifs du traitement choisi, commence la fabrication d'une série d'aligneurs que devra porter le patient.

Maîtriser ces outils et leur biomécanique est indispensable au succès de nos traitements des malocclusions et des défauts d'alignement dentaire.

L'efficacité des aligneurs repose essentiellement sur la compliance du patient mais également sur la capacité du praticien à poser la bonne indication et gérer la biomécanique du traitement.

Les perspectives sont nombreuses, l'une d'entre elles étant la démocratisation de cette technique au sein même du cabinet.

1 : Les aligneurs

Un aligneur est une gouttière transparente amovible en polymère thermoformable.

Il permet le déplacement dentaire par l'application de mouvements de faibles amplitudes.¹

Figure 1 : un aligneur



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

Il existe à ce jour plusieurs systèmes commerciaux d'aligneurs dont nous ne ferons pas la promotion dans ce travail. Nous nous consacrerons plus particulièrement à la description du système le plus utilisé. Nous avons choisi de traiter davantage du système INVISALIGN® car c'est le plus ancien, le plus répandu, avec de nombreuses études et de nombreux documents disponibles sur les bases de recherches.

Il s'agit simplement d'un exemple d'aligneurs parmi tous ceux disponibles.

Aucun conflit d'intérêts n'a lieu d'être dans cette thèse d'exercice.

¹ Corbin, « Thérapeutique orthodontique par aligneurs, une alternative pertinente aux systèmes fixes multi-attaches ? »

Tableau 1 : Liste alphabétique de systèmes d'aligneurs actuellement commercialisés

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

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

La biomécanique des aligneurs :

La biomécanique orthodontique correspond à l'étude du système parodontal en réponse aux forces qui lui sont appliquées. Ces forces interfèrent sur la réponse parodontale selon :

- La direction
- Le degré
- La distribution
- La durée

La résultante de ces forces provoque alors des mouvements dentaires, certains souhaités, d'autres indésirables.

La surface de l'aligneur recouvre la quasi-totalité de la couronne dentaire et avec des contacts intimes, ce qui permet pour cet appareil amovible d'optimiser le mouvement.

Ce contact parfait permet une transmission des informations par une action ciblée et programmable.

Un nouvel aligneur positionné en bouche va développer une force presque continue dont l'intensité décroît rapidement. Chaque aligneur sera porté 22 heures par jour si on décompte les repas et le brossage.

La réorganisation parodontale est favorisée via des périodes de repos tissulaires favorables.

Les sociétés d'aligneurs recommandent un port de chaque aligneur équivalant à 1 ou 2 semaines en moyenne.

Chaque aligneur permet en moyenne jusqu'à 1° de torque, 2° de rotation et 0.25mm de déplacement dentaire.

Des études récentes indiquent que ces aligneurs seraient plus efficaces avec des durées totales de port réduites par aligneurs. En contrepartie un nombre plus élevé du nombre total d'aligneurs serait nécessaire afin d'appliquer des forces plus légères pour procéder à de petits mouvements.

Les aligneurs seraient donc changés plus souvent.²

1.1. Critères influençant les forces délivrées par les aligneurs

La conception de l'aligneur influe sur les forces qu'il délivre.

1.1.1. Épaisseur du matériau

Différentes études ont été menées concernant l'influence de l'épaisseur de l'aligneur.

Pour les résumer : indépendamment du matériau utilisé, l'épaisseur de l'aligneur influence la valeur des forces délivrées à la dent.

Plus l'épaisseur de l'aligneur est élevée, plus il transmettra des forces importantes.^{3,4}

1.1.2. Type de polymère utilisé

Le type de structure obtenue par la polymérisation des monomères influe sur le comportement des plastiques.

On peut ajouter des adjuvants aux polymères qui modifieront leurs propriétés physiques et chimiques ainsi que des renforts qui modifieront leurs propriétés mécaniques.

Plusieurs critères sont recherchés en orthodontie¹ :

- plastique souple et résilient avec d'excellentes qualités de modelage
- non toxique
- inerte et inaltérable dans la salive
- sans odeur et sans saveur
- résistant aux détergents de nettoyage quotidien

À des niveaux d'activation faible (0,15 et 0,30mm), le type de matériau utilisé influence la valeur de force délivrée. Les propriétés physiques et chimiques des matériaux sont à l'origine des différences de résultats.⁵

² Setbon, « Conférence « l'orthodontie par aligneurs aujourd'hui » ».

³ Tuncay, *The Invisalign system*.

⁴ Kwon et al., « Force delivery properties of thermoplastic orthodontic materials ».

⁵ Hahn et al., « Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a maxillary central incisor during tipping ».

1.1.3. Mode de thermoformage

Il existe deux types de machine à thermoformer :

- La majorité fonctionne sur le principe de la dépression d'air. Un appel d'air s'opère en dessous du modèle à thermoformer et assure grâce à cela l'aspiration du matériau plastique par-dessus.

Exemple : Essix Machine[®], Tray Vac[®], Econo Vac[®]

- D'autres génèrent de l'air en pression au-dessus du matériau thermoplastique de manière à le plaquer contre le modèle. Des granulés d'acier enrobent partiellement le modèle limitant le thermoformage aux zones non recouvertes.

Exemple : Ministar[®], Biostar[®] Erkoform[®] ou Accu-vac^{®6}

Lors du processus de thermoformage, une pression résiduelle peut être introduite au sein du polymère. Par conséquent la méthode de fabrication par thermoformage, quelle qu'en soit le type, peut induire une variabilité des forces engendrées, en agissant sur la précision de l'adaptation.

Un effet de soulèvement de l'appareil n'apparaît qu'à un niveau d'activation élevé.

L'importance de l'adaptation liée au mode de thermoformage n'est valable que lors de grands déplacements dentaires (0,5 mm).^{7,8,9}

1.1.4. Complexité de la morphologie dentaire

L'éventail des anatomies dentaires nécessite une réflexion propre à chaque patient pour déterminer où s'applique la résultante du système de forces.

Plus l'anatomie dentaire se complexifie, plus les forces sont variables.

Cependant, l'ajout d'attacheurs diminue la variabilité des forces car ils augmentent la rétention de l'aligneur grâce à une bonne adaptation et un positionnement réitératif sur la dent à déplacer.¹⁰

De plus, les forces sont principalement appliquées sur certaines dents, les autres servants d'ancrage.

En fonction du type de dents, les forces engendrées sont différentes.

L'anatomie et la position d'une dent et de ses voisines influent sur les forces délivrées.¹¹

Ainsi l'interaction couronne dentaire/aligneur est patient dépendante.

⁶ Bouchez, *Les traitements orthodontiques Invisalign*[®].

⁷ Tuncay, *The Invisalign system*.

⁸ Averlant-Dubois, « Les polymères de thermoformage ».

⁹ Hahn et al., « Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a maxillary central incisor during tipping ».

¹⁰ Tuncay, *The Invisalign system*.

¹¹ Hahn et al., « Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a maxillary central incisor during tipping ».

1.1.5. Durée d'activation

Après un certain temps de port, le matériau perd de son activation initiale c'est-à-dire qu'il exerce moins de force sur la dent à déplacer.

Au moment du changement d'aligneur lorsque le patient retire celui qu'il portait, l'appareil a subi des modifications. Il recouvre une partie de sa forme initiale. Cela est dépendant du temps de port de l'aligneur ainsi que du temps de repos.¹²

Pour une utilisation classique de l'aligneur c'est-à-dire 2 semaines à peu près, il n'y a pas d'influence sur les propriétés du polymère. Par contre, les charges répétées liées aux insertions/désinsertions de l'aligneur entraînent une diminution des forces délivrées.¹³

1.1.6. Synthèse

Les forces délivrées dépendent tout d'abord du type et de l'épaisseur du polymère.

À faible niveau d'activation, les principaux déterminants sont les propriétés physiques et chimiques du polymère. Lorsque l'activation est plus élevée (0.50 mm), on peut observer un phénomène de soulèvement de l'aligneur. C'est à ce moment-là que le mode de thermoformage joue un rôle crucial. Une bonne adaptation de l'appareil sur les couronnes dentaires permet d'appliquer une pression plus importante sur les dents à déplacer.

De plus, les phénomènes de friction empêchent le soulèvement de l'aligneur.

Il faut également analyser l'anatomie dentaire des dents à déplacer et de leurs voisines qui sont patient dépendantes.

Pour finir, il est important de prendre en compte la relaxation du polymère qui subit des charges répétées en raison des nombreux cycles d'insertions et de désinsertions.¹⁴

¹² Tuncay, *The Invisalign system*.

¹³ Kwon et al., « Force delivery properties of thermoplastic orthodontic materials ».

¹⁴ Corbin, « Thérapeutique orthodontique par aligneurs, une alternative pertinente aux systèmes fixes multi-attaches ? »

1.2. Difficultés liées à l'étude biomécanique des aligneurs

La détermination du système de force d'un aligneur et des moments associés est complexe et difficile à définir.

Étant donné que la dent est englobée dans l'aligneur, le point d'application de la force n'est pas ponctuel. Il s'apparente plutôt à une surface de contact. C'est la résultante des forces appliquées sur cette surface qu'il faut appréhender.

Ces forces évoluent continuellement lors du port de l'aligneur.

La zone d'application des forces correspondant à la zone d'interaction couronne/aligneur se modifie en même temps que les dents se déplacent. En effet, puisqu'il s'agit d'un appareil amovible, par conséquent il n'est pas fixé de manière rigide à la dent qu'il met en mouvement. Ceci va entraîner des interactions plus complexes entre la dent et l'aligneur, notamment lors d'un mouvement de glissement, où les points de contact entre ces deux interfaces évoluent de manière dynamique.

De plus, les forces appliquées sont complètement modifiées lors du changement de l'aligneur suivant. Si un incident de parcours se produit, l'adaptation de l'aligneur suivant est alors modifiée ce qui peut induire des forces non souhaitées et des mouvements indésirables.

2 : Diagnostic, objectifs et plan de traitement¹⁵

2.1. Diagnostic

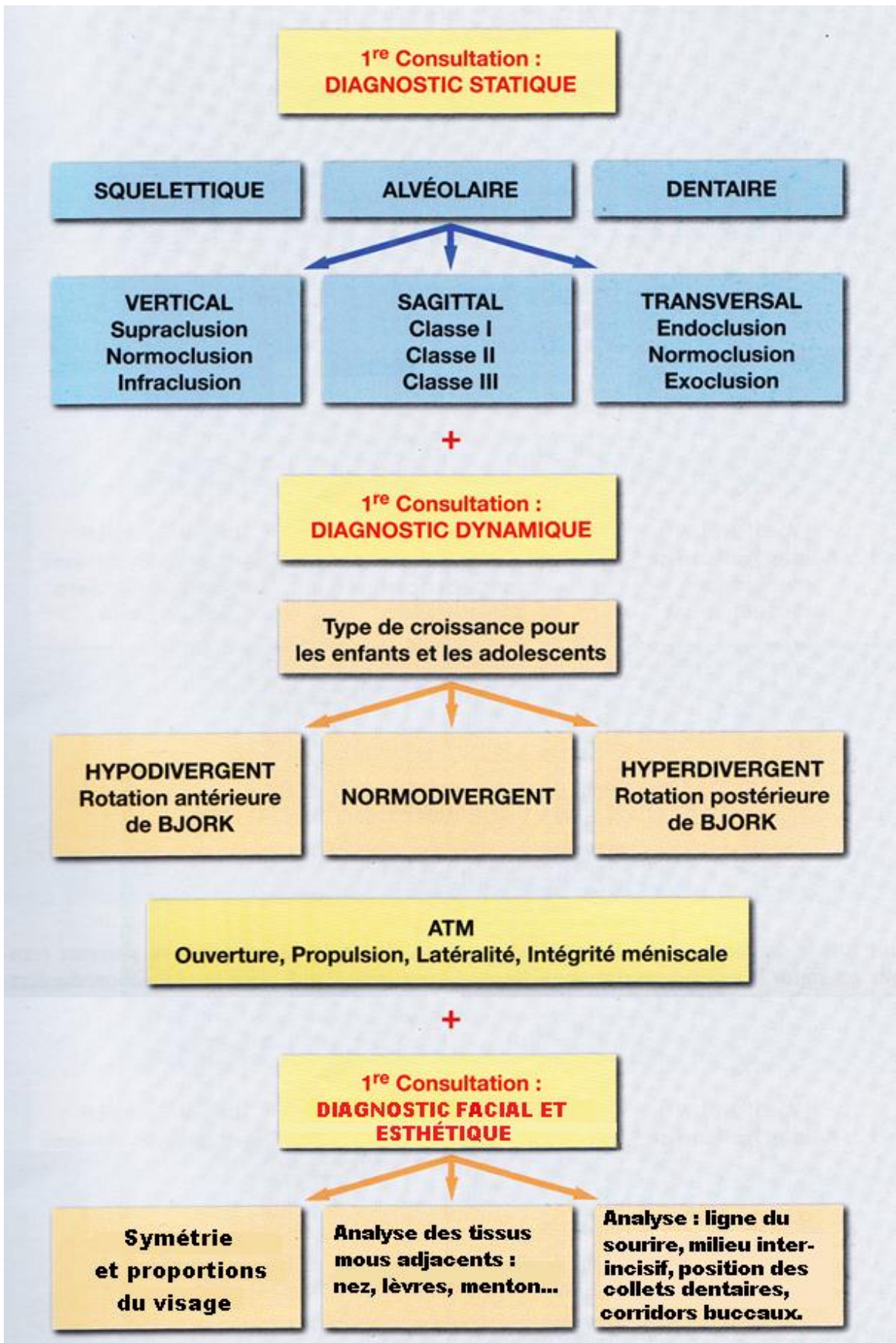
L'utilisation des aligneurs comme thérapeutique orthodontique ne dispense pas de la réalisation d'un diagnostic orthodontique classique dont découle une synthèse diagnostique qui définira des objectifs de traitement conduisant à l'élaboration d'un plan de traitement.

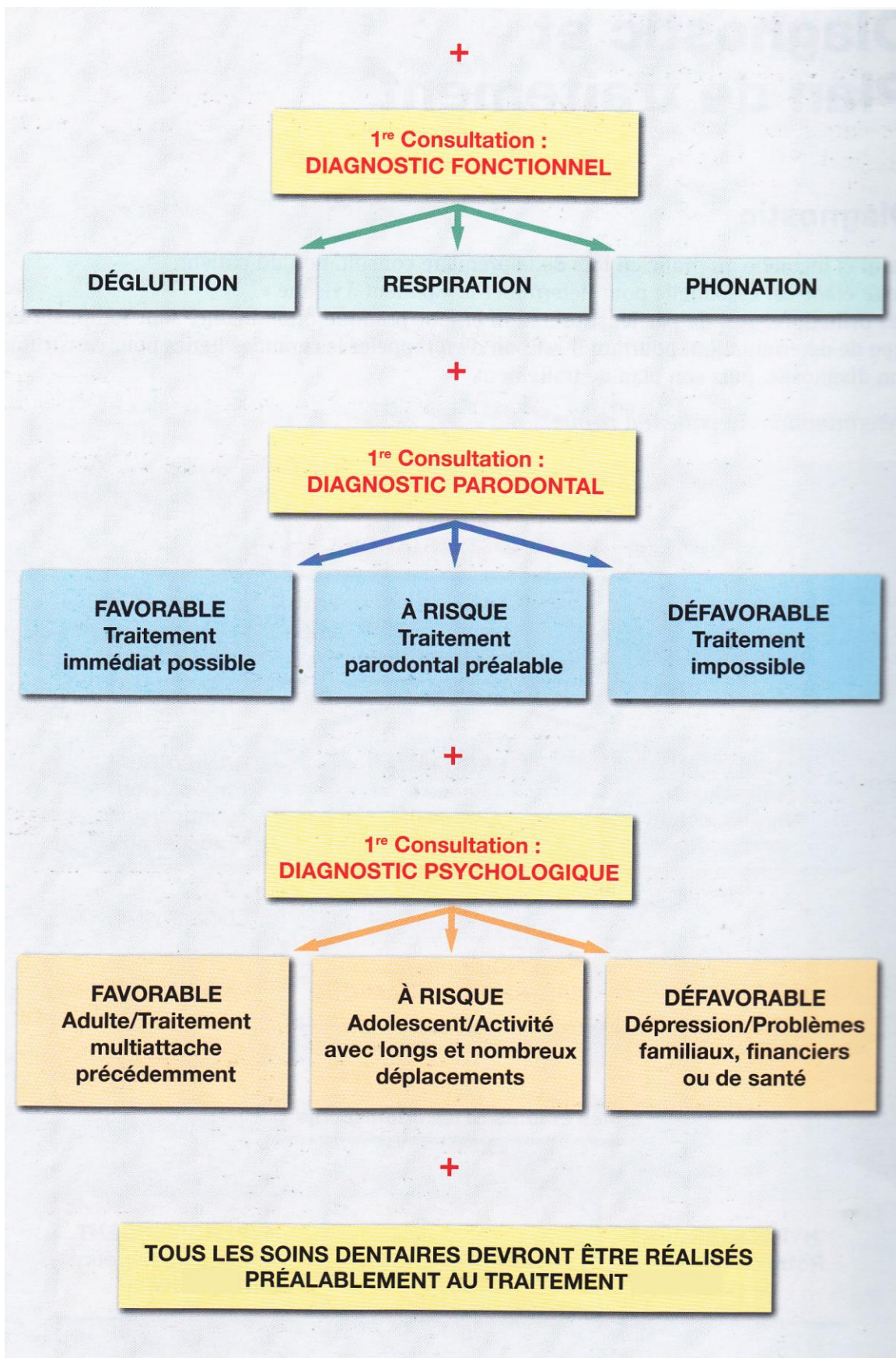
Afin de réaliser un diagnostic orthodontique complet, il est nécessaire d'effectuer :

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

¹⁵ Schupp, Haubrich, et Mourlaas, *Les aligneurs en orthodontie*.

Figure 2 : Diagnostic orthodontique





Source : Bouchez, *Les traitements orthodontiques Invisalign®*, 2009

2.1.1. Anamnèse

Il est nécessaire lors de l'anamnèse, d'envisager une origine génétique ou environnementale de certains troubles.

On recherchera :

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

2.1.2. Examen extra-oral

Les photographies extra-orales de face avec et sans sourire, de profil et de $\frac{3}{4}$ sont indispensables pour l'analyse esthétique et fonctionnelle, la physionomie du patient et sa posture.

Elles servent à documenter le cas à un instant donné et ont une valeur médico-légale.

L'examen de face sert à évaluer :

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

L'examen de profil sert à évaluer :

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

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

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

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

2.1.3. Examen intra-oral

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

2.1.3.A. Examen Parodontal

L'état de santé parodontal est évalué grâce à un dépistage qui relève : l'inflammation gingivale, la présence de plaque bactérienne, de dépôts (hygiène dentaire), le sondage parodontal et l'importance des mobilités dentaires.

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

Le diagnostic parodontal posé détermine la faisabilité du traitement, ou la nécessité de le reporter après soins parodontaux. Un parodonte diminué peut être pris en charge, mais surtout pas un parodonte inflammatoire.

2.1.3.B. Examen Dentaire

L'examen dentaire minutieux permet d'établir la formule dentaire (schéma) et le stade de denture.

On s'intéressera également à la forme des dents (dysharmonie dento-dentaire).

Les soins dentaires réalisés sont un pré-requis pour débiter un traitement orthodontique.

L'évaluation des dents recense les dents manquantes, remplacées, nécrosées non traitées, les lésions inflammatoires chroniques nécessitant un traitement endodontique, les lésions carieuses, l'ensemble des traitements restaurateurs et prothétiques.

2.1.3.D. Rapports intra-arcades

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

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

2.1.3.C. Rapports inter-arcades

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

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

2.1.4. Examen occluso-fonctionnel

Un examen des fonctions (déglutition, respiration, phonation, mastication) est réalisé.

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

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

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

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

Un diagnostic dynamique et occluso-fonctionnel doit être pratiqué à la recherche d'une dysfonction de l'articulation temporo-mandibulaire ou de troubles occlusaux.

On évaluera la relation centrée et l'intercuspidie maximale ainsi que le chemin d'ouverture et de fermeture.

L'inspection, la palpation des muscles et de l'articulation temporo-mandibulaire ainsi que l'évaluation de sa mobilité font partie de l'examen fonctionnel.

L'asymétrie faciale sera un signe d'appel de déviations mandibulaires pouvant être liée à des désordres occlusaux et demandera un examen approfondi.

Les tics et les parafunctions (onyccophagie, succion du pouce...) devront être systématiquement recherchés.

2.1.5. Modèles d'études

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

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

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

2.1.6. Examens radiographiques

Une radiographie panoramique de première intention permettra une vue d'ensemble de la dentition. Elle permettra de visualiser la morphologie des racines dentaires (risque de résorption), les dents incluses ou les agénésies.

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

Le praticien doit également se soucier du type de croissance pour les enfants et les adolescents (hypo/normo/hyperdivergents).

Si d'autres informations semblent nécessaires (risque carieux, dents incluses, retenues, agénésie, transpositions, résorptions radiculaires...), il est possible de réaliser des clichés rétro-alvéolaires, une téléradiographie de face, un cone beam, un scanner (structures dentaires, osseuses et condyle), une IRM (pour les tissus mous), ou une tomographie (articulation temporo-mandibulaire).

2.2. Synthèse diagnostique et objectifs de traitement

À partir des données recueillies lors des examens cliniques et complémentaires, le praticien doit établir une synthèse diagnostique comprenant un diagnostic esthétique, fonctionnel, dento-parodontal, alvéolaire et squelettique dans les 3 sens de l'espace (transversal, vertical et sagittal).

Il en découlera des objectifs de traitements qui orienteront le praticien vers l'élaboration d'un plan de traitement.

2.3. Plan de traitement

Une fois la synthèse diagnostique établie et les objectifs de traitements fixés qui doivent prendre en compte le motif de consultation initial, il faut définir le(s) moyen(s) de traitement pour y répondre.

Il va falloir proposer au patient les différentes thérapeutiques orthodontiques envisageables et choisir avec lui celle(s) qui lui correspond(ent) le mieux.

Les aligneurs présentent énormément d'avantages mais ne sont pas la solution thérapeutique à mettre en œuvre pour chaque patient même s'ils en sont très demandeurs.

Il est essentiel de déterminer les patients à risque en s'aidant d'un diagnostic psychologique.

Suite à cela, il convient d'établir une organisation des séances avec une mise en place de la thérapeutique orthodontique et un suivi.

Puis une maintenance au long cours devra être effectuée pour éviter les récives.

Le piège dans lequel il ne faut surtout pas tomber est de se laisser « guider » par les techniciens et par le logiciel qui se présente sous forme de cases à cocher ou à remplir concernant les corrections à effectuer.

Un praticien doit savoir comment mener à bien son traitement et par quels moyens.

En fonction du cas clinique traité, il est possible d'allier les aligneurs à d'autres techniques : orthopédiques, orthodontiques (multi-attaches) ou chirurgicales.

L'utilisation de tractions inter-maxillaires de classe II ou III aide à corriger les malocclusions.

La pose d'auxiliaires tels que des boutons collés ou des encoches dans les aligneurs facilitent la mise en place des élastiques.

Figure 3 : Encoche dans l'aligneur pour le placement d'un élastique. Un espacement peut être réalisé pour la pose d'un bouton collé



Source : Schupp, Haubrich, et Mourlaas, *Les aligneurs en orthodontie*, 2017

C'est au moment de la conception du ClinCheck® que ces options doivent être réfléchies.

Des auxiliaires telles que les minivis permettent un ancrage absolu.

3 : Pertinence des aligneurs

3.1. Indications, Contre-indications et Limites de traitement

Les aligneurs font partie du panel thérapeutique de l'orthodontiste.

Une analyse approfondie de leur utilisation en fonction des cas doit être effectuée selon la complexité des mouvements dentaires à réaliser.

L'utilisation conjointe d'autres systèmes orthodontiques permet d'élargir le champ des indications de l'utilisation des aligneurs.

3.1.1. Indications ^{16,17,18}

Tableau 2 : Faisabilité moyenne des traitements par aligneurs Invisalign® sans l'aide d'auxiliaires par un orthodontiste

Traitements facilement réalisables avec des aligneurs	Traitements difficilement réalisables avec des aligneurs
Encombrements et diastèmes de 1 à 5 mm, Traitement des cas d'encombrement mandibulaire nécessitant une extraction d'incisives ou de prémolaires	Encombrement et diastèmes > 10 mm
Décalage antéropostérieur < 4mm	Décalage antéropostérieur > 5mm
Expansion V ou L de 2 à 4 mm et traitement des inversés d'articulés faibles	Version dentaire > 45°
Mouvements verticaux < 5mm	Mouvements verticaux > 5mm
Rotation limitée < 20°	Rotation > 30°
Mouvement faible ou modérée de racine	Mouvement important de racine

Source : Corbin, « Thérapeutique orthodontique par aligneurs, une alternative pertinente aux systèmes fixes multi-attaches ? », 2010

¹⁶ Proffit et al., *Contemporary orthodontics*.

¹⁷ Joffe, « Invisalign : early experiences ».

¹⁸ Crosby et Lee, « A patient-classification system for Invisalign cases ».

Les indications sont multiples :

- correction de décalages sagittaux avec mouvements dentaires de distalisation/mésialisation : classes I, II et III d'Angle
- diastèmes dentaires
- encombrement dentaire
- traitements orthodontiques avec ou sans extractions
- préparations d'un traitement ortho-chirurgical
- correction de décalages transversaux : endo/exo-position +/- inversé d'articulé
- malpositions dentaires : versions, rotations, encombrements
- préparation pré-prothétique ou pré-implantaire
- corrections de décalages verticaux : ingression, égression, infracclusion, supracclusion
- mouvements secondaires à des parodontopathies traitées
- canines incluses
- récurrences de traitements orthodontiques
- patients porteurs de nombreuses prothèses fixes sur lesquelles le collage de brackets est compliqué et peu pérenne
- patients atteints de bruxisme puisque les aligneurs réduisent les inconforts myofaciaux liés aux serrements et grincements des dents.²⁰
- patients présentant un risque carieux élevé, ou des défauts amélaire contre-indiquant le collage de brackets.

3.1.2. Contre-indications et limites de traitement

3.1.2.A. Dues au patient

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

3.1.2.B. Dues à l'anatomie/morphologie dentaire

- Les dents courtes : l'aligneur ne sera pas assez rétentif sur les dents et ne permettra pas les déplacements dentaires souhaités (surface limitée). Les taquets ne peuvent pas toujours compenser.
- Particularité anatomique des dents rondes ou riziformes (moins de contacts dent/aligneur : perte d'informations transmises) comme la seconde prémolaire mandibulaire.

Il en résulte un manque d'adhérence dans l'aligneur.

- Patients ayant des antécédents, des risques de résorptions radiculaires ou des racines courtes.
- Les dents nécessitant des soins
- Les dents incluses
- Les édentements de grande étendue, fragilisant les aligneurs

3.1.2.C. Dues aux mouvements dentaires à réaliser et à la position des dents

- Ingressions ou égressions trop importantes.
- certains axes empêchent l'insertion normale de l'aligneur comme des versions mésiales.

3.1.2.D. Dues aux corrections squelettiques

- Expansion transversale importante.
- Insuffisance/excès vertical marqué c'est-à-dire les infraclusions ou les supraclusions trop importantes (corrigées par ingression en masse ou égression importante)
- Grands décalages antéro-postérieurs (Classe II ou III de Balard). Le recul en masse est difficile.

3.1.2.E. Dues à l'expérience du praticien

Un praticien doit savoir juger de la complexité du cas à traiter et de sa capacité de mener le traitement à terme.

En conclusion, les aligneurs sont une alternative pertinente à d'autres techniques orthodontiques. Ils répondent à des indications propres à leur biomécanique et doivent être utilisés à bon escient. Des traitements combinés à d'autres techniques permettent d'élargir leur champ d'action.

3.2. Avantages et inconvénients des aligneurs

3.2.1. Avantages

3.2.1.A. L'esthétique

Les aligneurs sont quasi invisibles grâce à leur propriété optique de transparence.

Ils sont discrets, ajustés au profil des dents, adaptés à la vie sociale et professionnelle procurant une intégration esthétique importante.

Il est également possible de réaliser un « espace pontique », c'est-à-dire une dent en composite intégrée dans l'aligneur, remplaçant une dent manquante à la demande.

Figure 4 : L'invisibilité de l'aligneur répond à une demande croissante des patients



Source : Bouchez, *Les traitements orthodontiques Invisalign®*, 2009

3.2.1.B. Amovibilité

Les aligneurs sont des dispositifs orthodontiques amovibles. Leur insertion/désinsertion est facile.

Lors d'occasions spéciales, il est possible de s'en affranchir provisoirement.

3.2.1.C. Le confort

Les aligneurs sont faciles à utiliser et à porter : ils sont confortables. Une fabrication sur mesure permet une adaptation parfaite aux dents jusqu'à la limite gingivo-dentaire.

Cela permet un glissement naturel des lèvres, des joues et de la langue sur l'aligneur en évitant les irritations et les blessures. Les fonctions telles que l'élocution et la mastication sont très peu perturbées.

3.2.1.D. Un contrôle aisé du brossage dentaire

Les aligneurs étant amovibles, ils seront retirés lors des repas et du brossage dentaire ce qui facilite la réalisation des gestes d'hygiène bucco-dentaire. Il n'y a pas de zones de rétentions iatrogènes de la plaque dentaire. Le patient peut réaliser un brossage dentaire et inter-dentaire sans difficulté.

De plus, le nettoyage des aligneurs après chaque retrait en bouche permet un entretien facilité.

Des brosses de prothèses et un bac à ultrasons peuvent être utilisés.

3.2.1.E. Communication facilitée avec le patient

La visualisation du traitement virtuel par le patient est possible.

Plusieurs informations conduisant à un consentement éclairé peuvent lui être apportées :

- durée exacte
- type de mouvements dentaires
- nombre d'aligneurs et d'éventuels taquets
- réductions inter-proximales si nécessaires

Récemment la firme française Smiler® vient de mettre au point une technologie permettant de superposer leur set-up animé 3D avec la photographie de face du patient ce qui permet au patient d'appréhender les étapes du traitement jusqu'au résultat final directement sur lui.

3.2.1.F. Implication du patient dans ses soins et son suivi

Des applications de suivi sur Smartphone dédiées au patient telles que Dental Monitoring Go Live® ont vu le jour récemment pour un suivi personnalisé.

Chaque patient étant unique, son traitement doit l'être également.

Un intervalle fixe de changement d'aligneurs est donc loin d'être idéal car pas assez spécifique.

Pour cela, ils proposent un système de suivi dynamique conçu pour optimiser l'adaptation des aligneurs, et préserver le déroulé et les objectifs du traitement.

DM GoLive® est doté d'un algorithme qui détecte les aligneurs inadaptés, y compris pour les patients dont le traitement est déjà en cours. Une fois que le patient a installé l'application DM sur son smartphone, il peut scanner lui-même ses dents avec un écarteur dédié, en quelques minutes. Grâce à ce dispositif, le patient reçoit chaque semaine une notification «GO» ou «NO-GO», contrôlée par

l'orthodontiste, via l'application Dental Monitoring lui indiquant s'il doit passer aux aligneurs suivants ou garder ses aligneurs actuels.

L'application informe également d'autres situations indésirables telles que les problèmes d'hygiène.¹⁹
20, 21

3.2.1.G. Diminution du nombre de rendez-vous, de leur durée ainsi que des urgences

Au cabinet, le nombre total de rendez-vous nécessaires est inférieur à un traitement multi-attaches.

La séance type de renouvellement des aligneurs est plus courte qu'une séance multi-attaches.

De plus, elle nécessite beaucoup moins d'instruments.

Le temps de travail est reporté à la conception informatique préalable.

On observe beaucoup moins de rendez-vous d'urgence.

3.2.2. Inconvénients

3.2.2.A. L'esthétique

Il arrive que la salive puisse être visible à cause de bulles dans l'intrados de l'aligneur.

Il s'agit alors d'un contact imparfait entre la surface dentaire et l'appareil.

Il peut également s'agir d'une discordance des mouvements prévisionnels du ClinCheck® avec la réalité d'où un mauvais contact dent/aligneur.

De même, lorsque des attachements sont présents sur les dents antérieures, des zones d'ombre peuvent apparaître et rendre le système moins esthétique.

3.2.2.B. Compliance du patient

La compliance du patient est primordiale dans le port des aligneurs car l'appareil étant amovible, le patient peut « oublier » de le porter contrairement à un appareil fixe.

La motivation du patient doit être évaluée avant de proposer ce genre de traitement et sa collaboration doit être entretenue tout au long de la thérapeutique.

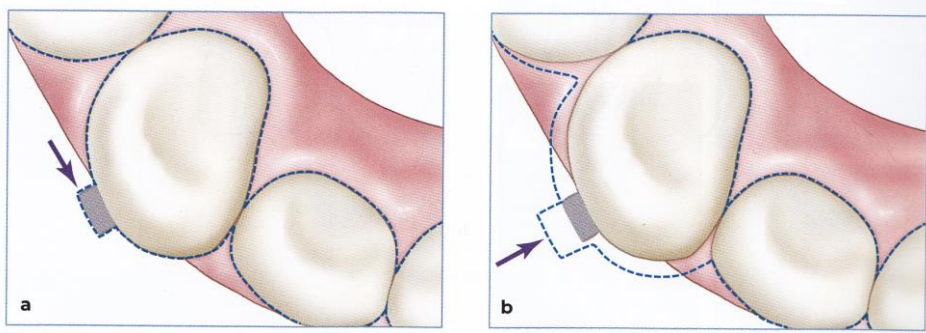
Si le port de l'aligneur n'est pas permanent, alors les forces intermittentes ne seront pas autant efficaces que les forces continues, notamment en présence d'interférences occlusales.

¹⁹ Setbon, « Conférence « l'orthodontie par aligneurs aujourd'hui » ».

²⁰ Clinique B And Smile® Académie, « Dental monitoring : le suivi d'orthodontie sur smartphone ».

²¹ Dental Monitoring, « Pourquoi Dental monitoring ? »

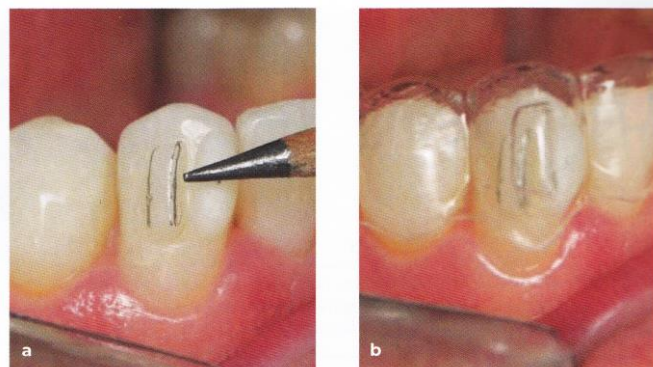
Figure 5 a et b : Une mauvaise insertion sur le taquet produit une interférence indésirable entre l'aligneur et le taquet qui peut entraîner un mouvement indésirable de la dent



Source : Tai, *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*, 2018

Des séances initiales explicatives et démonstratives détaillées du bon port des aligneurs puis des séances régulières de contrôle sont indispensables.

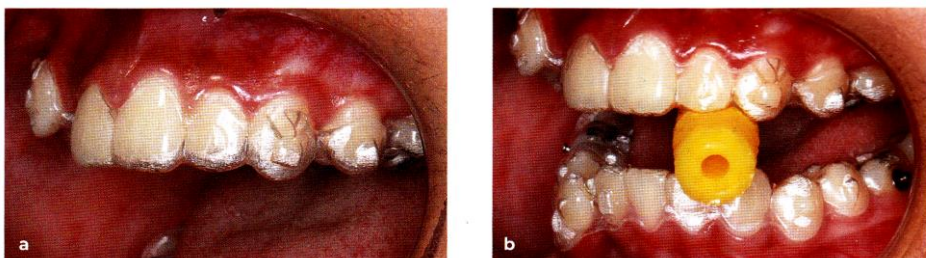
Figure 6 a et b : Marquer les taquets avec un crayon permet au clinicien de voir si l'aligneur s'insère correctement



Source : Tai, *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*, 2018

Figure 7 a et b : a) Il peut y avoir un espace entre les dents et la gouttière lors de l'insertion initiale

b) : Mâcher sur un accessoire aidera à insérer l'aligneur



Source : Tai, *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*, 2018

3.2.2.C. Perte des aligneurs

La perte des aligneurs par le patient ou une altération par leur manipulation peut ralentir le déroulement du traitement.

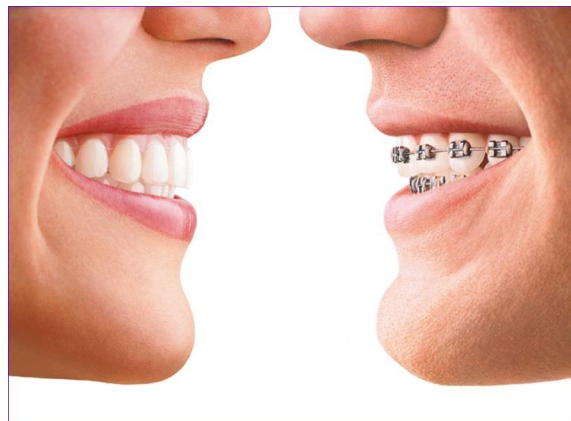
Cela concernerait un patient sur six.²²

3.2.2.D. Intrusion des dents postérieures

Une béance postérieure peut apparaître en fonction de l'épaisseur de l'aligneur utilisé qui provoque par une interposition inter-arcades une intrusion des dents postérieures (mouvements parasites de 0,25 à 0,5 mm environ).

3.3. Analyse comparative : Aligneurs versus Multi-attaches

Figure 8 : Aligneurs à gauche ; système multi-attache à droite



Source : Tarot, « Les gouttières transparentes ou aligneurs Invisalign® », 2015

3.3.1. Transmission de l'information entre l'appareil et la dent

En multi-attaches, on utilise le plus souvent des fils orthodontiques sous dimensionnés par rapport à la lumière du boîtier ce qui entraîne une importante perte d'informations dans les trois ordres.

De plus, lors de l'étape du collage, la position du boîtier est influencée par l'anatomie dentaire perçue par le praticien.

Les aligneurs étant moulés sur mesure, un contact intime va s'établir entre l'intrados de l'appareil et la surface dentaire.

²² Lindauer et Shoff, « Comparison of Essix and Hawley Retainers ».

Cela permettra une transmission de la totalité des informations thérapeutiques aux dents dès le début du traitement.

Tableau 3 : Analyse comparative multi-attaches versus aligneurs

TABLEAU Action des appareils multi-attaches <i>versus</i> aligneurs en termes d'inclinaison des incisives, du contrôle vertical, de la correction des points interincisifs et de la dysharmonie dentodentaire		
	APPAREILS MULTI-ATTACHES	ALIGNEURS
Inclinaison des incisives	Les incisives ont tendance à se vestibuloverser au moment de l'alignement	Très bon contrôle des inclinaisons incisives
Contrôle vertical	Le recouvrement et le surplomb diminuent avec la vestibuloversion incisive et l'alignement	Très bon contrôle vertical dans les cas de bout à bout
Alignement des points interincisifs	Dépend de la coopération du patient à porter les élastiques	Prévisible
Dysharmonie dentodentaire	Doit être calculée ou ajustée en cours de traitement	Peut être calculée sur le ClinCheck

Source : Tai, *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*, 2018

3.3.2. Nivellement et friction

En technique multi-attaches, le fil orthodontique va provoquer une friction avec le boîtier lors des déplacements dentaires.

De plus, lorsqu'il existe des interférences occlusales, celles-ci peuvent entraîner des frictions interdentaires et provoquer des mouvements parasites, voire gêner certains déplacements.

Grâce aux aligneurs, on peut éliminer les phases de nivellement des arcades dentaires indispensables aux techniques multi-attaches.

De plus, il n'y a pas de forces de frictions boîtier/fil/ligature.

La pression musculaire environnante, la pression occlusale et les collisions dentaires sont réduites et mieux réparties sur les arcades dentaires qui sont enveloppées par les aligneurs.

3.3.3. Efficacité de traitement

L'efficacité des aligneurs dépend du type de mouvement à réaliser, de l'expérience du praticien et de l'entière coopération du patient.

Ils sont très efficaces pour les mouvements de version, le nivellement, les intrusions, les rotations mineures à modérées des incisives et les fermetures d'espaces d'origine non extractionnelle ou limitées à celle d'une incisive mandibulaire.

Les résultats sont moins prédictibles lorsqu'il s'agit de fermer des espaces d'extraction de prémolaires (translation), des mouvements de rotation de dents anatomiquement rondes (canines/prémolaires), le torque, corriger un décalage antéro-postérieur, l'extrusion ou traiter une supraclusion.

Le facteur mis en cause est le manque de contrôle de la dent lors des déplacements.

Mettre en place des attachements améliore seulement en partie les résultats des traitements.

Le système multi-attaches permet de réaliser un plus grand nombre de mouvements.

Le traitement des malocclusions modérées à sévères peut s'effectuer à l'aide d'aligneurs mais leurs champs d'action sont plus restreints que le système fixe multi-attaches pour lequel les résultats sont plus prédictibles.²³

3.3.4. Santé parodontale

Contrairement aux brackets, bagues, fils et autres accessoires des multi-attaches, les aligneurs, grâce à une adaptation sur mesure parfaite, évitent les irritations et les blessures du parodonte superficiel. De plus, le brossage est favorisé pour les aligneurs qui sont amovibles contrairement aux dispositifs multi-attaches qui sont fixes et rétenteurs de plaque créant une inflammation environnante (gingivite iatrogène ou parodontite).

Les études montrent que les patients ayant un traitement par aligneur présentent un meilleur état parodontal lors du traitement et un indice de plaque significativement moins important que lors d'un traitement multi-attaches.^{24,25}

Ces constatations ont lieu même lorsqu'un enseignement à l'hygiène orale a lieu ainsi qu'une motivation à l'hygiène tout au long du traitement.²⁶

L'entretien d'une hygiène bucco-dentaire correcte est compliqué par les accessoires scellés ou collés du traitement multi-attaches.

Cependant, d'autres études montrent que les lésions engendrées par l'accumulation de plaque avec un appareillage multi-attache sont réversibles.^{27, 28, 29}

Un traitement des maladies parodontales doit être mené préalablement à l'orthodontie, et une maintenance parodontale soigneuse assurée.

²³ Corbin, « Thérapeutique orthodontique par aligneurs, une alternative pertinente aux systèmes fixes multi-attaches ? »

²⁴ Clements et al., « Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 2 : dental improvements ».

²⁵ Miethke et Vogt, « A comparison of the periodontal health of patients during treatment with the Invisalign system and with fixed orthodontic appliances ».

²⁶ Boyd, « Complex orthodontic treatment using a new protocol for the Invisalign appliance ».

²⁷ Eliasson et al., « The effects of orthodontic treatment on periodontal tissues in patients with reduced periodontal support ».

²⁸ Boyd et al., « Periodontal implications of orthodontic treatment in adults with reduced or normal periodontal tissues versus those of adolescents ».

²⁹ Boyd et Dugoni, « Improving periodontal health through Invisalign treatment ».

Un renforcement de la motivation à l'hygiène orale lors du traitement orthodontique doit avoir lieu à chaque rendez-vous.

Dans le cas contraire, on note une détérioration importante de la santé parodontale.

En conclusion, les aligneurs permettent d'obtenir une meilleure hygiène bucco-dentaire lors du traitement. Cependant, si un suivi parodontal est mené lors d'un traitement orthodontique par multi-attache, les résultats sont similaires dans les deux techniques.

3.3.5. Santé dentaire

3.3.5.A. Résorption Radiculaire

Le traitement orthodontique peut entraîner des lésions au niveau des racines dentaires : les résorptions radiculaires. Leurs origines sont multifactorielles, et leurs survenues difficiles à prédire.

L'étiologie principale est inconnue. Plusieurs facteurs biologiques sont suspectés : la susceptibilité individuelle, la génétique, l'influence des facteurs systémiques, la nutrition, l'âge, le sexe du patient, la structure dentaire, la densité osseuse alvéolaire, les antécédents traumatiques ou de résorptions radiculaires, les parafunctions.

Les tissus dentaires se modifient avec l'âge, et la susceptibilité à la résorption augmente conjointement.

Un adulte sera donc plus à risque de résorptions radiculaires qu'un adolescent.^{30,31,32,}

Il est très important de réaliser des clichés radiographiques en cours de traitement afin de surveiller que des résorptions radiculaires n'apparaissent pas.

D'un point de vue mécanique, les résorptions radiculaires sont influencées en fonction du type d'appareils orthodontiques utilisés.

Afin de réduire la probabilité de survenue des résorptions radiculaires, il est nécessaire d'utiliser des forces faibles.³³

De même, l'utilisation de forces discontinues permettrait une phase de repos favorable à la guérison du ciment résorbé et préviendrait les résorptions radiculaires. Cependant, appliquer des forces discontinues ralentit le mouvement dentaire (conception histologique du mouvement dentaire).^{34,35}

³⁰ Harris, « Root resorption during orthodontic therapy ».

³¹ Harris.

³² Brezniak et Wasserstein, « Root resorption after orthodontic treatment : part 2. »

³³ Apajalahti et Peltola, « Apical root resorption after orthodontic treatment : a retrospective study ».

³⁴ Proffit et al., *Contemporary orthodontics*.

³⁵ Ballard et al., « Physical properties of root cementum : part 11. Continuous vs intermittent controlled orthodontic forces on root resorption. A microcomputed-tomography study ».

Le risque de résorption radiculaire augmente parallèlement à la durée du traitement orthodontique.

³⁶

Les aligneurs sembleraient moins délétères que les systèmes multi-attaches.^{37, 38}

Pour conclure, afin de prévenir le risque de résorption radiculaire, il est recommandé de commencer le traitement orthodontique le plus tôt possible chez le sujet jeune en utilisant des forces faibles et discontinues et en limitant le temps de traitement (notamment en multi-attaches).

Chez l'adulte, il peut sembler pertinent d'avoir recours aux aligneurs afin de prévenir des résorptions radiculaires, mais le choix définitif du traitement doit reposer sur une réflexion globale.

3.3.5.B. Lésion carieuse

Quel que soit le type d'appareils orthodontiques (fixes ou amovibles), ils compliquent l'auto-nettoyage des surfaces dentaires par les lèvres, les joues, la langue et limitent l'effet bénéfique de la clairance salivaire.³⁹

Les brackets augmentent les zones de rétention d'où une difficulté accrue lors du brossage et du passage des brossettes inter-dentaires ainsi qu'une rétention alimentaire augmentée.

Les brackets peuvent provoquer des phénomènes de « white spots », suite à la déminéralisation provoquée par l'accumulation de plaque dentaire dans cette zone difficile d'accès au brossage.

De plus, la flore est modifiée quantitativement et qualitativement en présence de brackets.

Les espèces de *Porphyromonas gingivalis*, de *Prevotella intermedia/Prevotella nigrescens*, de *Tannerella forsythia* et de *Fusobacterium* sont plus élevées.

Des micro-organismes surinfectants tels qu'*Enterobacter cloacae*, *Klebsiella oxytoca*, *Klebsiella pneumoniae* et *Serratia marcescens* ont également été trouvés.

La mise en place de brackets influence l'accumulation de la plaque et la colonisation de bactéries parodontopathiques et surinfectantes importantes, entraînant davantage d'inflammation et de saignements. Une attention particulière doit être portée aux méthodes d'hygiène buccale chez les patients orthodontiques avec des traitements multi-attaches.⁴⁰

³⁶ Apajalahti et Peltola, « Apical root resorption after orthodontic treatment : a retrospective study ».

³⁷ Barbagallo et al., « Physical properties of root cementum : part 10. Comparison of the effects of invisible removable thermoplastic appliances with light and heavy orthodontic forces on premolar cementum. A microcomputed-tomography study ».

³⁸ Brezniak et Wasserstein, « Root resorption after orthodontic treatment : part 2. »

³⁹ Corbin, « Thérapeutique orthodontique par aligneurs, une alternative pertinente aux systèmes fixes multi-attaches ? »

⁴⁰ Naranjo et al., « Changes in the subgingival microbiota and periodontal parameters before and 3 months after bracket placement ».

Le brossage est facilité avec le port des aligneurs comparativement au système multi-attaches, puisqu'ils sont amovibles et peuvent être retirés lors du brossage.

L'apparition de lésions carieuses est donc moins fréquente avec ce dispositif.

Cependant il n'exclut pas l'apparition de lésions carieuses.

En effet, si l'aligneur est insuffisamment ou pas nettoyé, la porosité du matériau plastique augmentera la rétention de plaque pour donner un effet cariogène comparable au système multi-attaches.

En moyenne, un aligneur est porté une à deux semaines environ avant d'être changé, ce qui limite l'augmentation de la porosité.

Conjointement, on remarque que les patients traités par les aligneurs nettoient leurs appareils pour qu'ils préservent leur transparence et éviter qu'ils jaunissent.⁴¹

Par contre, peu d'études à ce jour portent sur une éventuelle modification de la flore bactérienne buccale en relation avec le matériau présent en bouche et ses éventuels facteurs de dégradation.

En conclusion, les aligneurs grâce à leur côté amovible et à leur changement régulier facilitent le brossage par rapport au système multi-attaches et ont un rôle à jouer dans la prévention carieuse.

3.3.6. Qualité de vie

La coopération des patients est directement liée à l'impact des dispositifs orthodontiques sur la qualité de vie. La douleur associée peut être un facteur majeur de découragement pendant le traitement.

Les deux systèmes (aligneurs et multi-attaches) peuvent induire des douleurs après pose ou activation.

En général, la douleur apparaît 2 à 4 heures après l'activation de l'appareil avec un pic à 24/48 heures.

L'intensité de la douleur diminue ensuite pour redevenir normale à 7 jours pour le multi-attaches.

Pour les aligneurs, elle disparaît après 2 à 5 jours.^{42, 43}

Pendant la première semaine d'activation pour le système multi-attaches, la douleur perçue est plus longue et plus intense que pour les aligneurs et entraîne une prise d'antalgiques plus importante.

Les systèmes fixes induisent plus de douleurs et d'inconforts que les appareils amovibles.

Les aligneurs peuvent entraîner de légers problèmes d'élocution minimisés par l'ajustement des aligneurs aux profils dentaires. Lorsque la langue s'appuie sur les cingulum ou les faces palatines, elle est peu ou pas perturbée dans sa fonction.^{44, 45}

Aucun trouble d'hypersalivation n'est décrit.

⁴¹ Boyd et Dugoni, « Improving periodontal health through Invisalign treatment ».

⁴² Miller et al., « A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment ».

⁴³ Nedwed et Miethke, « Motivation, acceptance and problems of Invisalign patients ».

⁴⁴ Stewart, Kerr, et Taylor, « Appliance wear : the patient's point of view ».

⁴⁵ Sergl et Zentner, « A comparative assessment of acceptance of different types of functional appliances ».

Une adaptation plus rapide est observée chez les patients porteurs d'aligneurs comparativement au système multi-attaches, en raison de l'encombrement du système fixe.⁴⁶

Les appareils occupant le minimum d'espace en bouche sont plus facilement acceptés par les patients.

⁴⁷

Contrairement aux traitements multi-attaches, les aligneurs évitent les rendez-vous d'urgence pour recollages de brackets ou réparations du dispositif.

Les patients portant des aligneurs décrivent moins de blessures muqueuses (irritations, ulcérations) que les patients appareillés en multi-attaches.⁴⁸

L'impact des aligneurs sur la qualité de vie des patients est favorable au niveau de la douleur, de l'adaptation et de l'élocution.

3.3.7. Diminution du nombre de rendez-vous et de leur durée

Un traitement par aligneur nécessite moins de rendez-vous comparativement à un traitement multi-attaches.

De plus, une séance type de renouvellement des aligneurs nécessite moins de travail en bouche, beaucoup moins d'instruments et moins de temps qu'une séance multi-attaches.

Cependant, le temps gagné au fauteuil découle d'un travail préalable de conception informatique de durée variable.

Pour conclure, cette analyse comparative nous indique que le champ d'action du système multi-attaches est plus large que celui des aligneurs permettant de traiter des cas plus complexes de manière plus prédictible. La compliance du patient est moins prédominante avec un système fixe.

Cependant, les aligneurs procurent un confort supérieur au patient et lui permettent une hygiène bucco-dentaire simplifiée garantissant une santé parodontale et dentaire avec un risque moindre de lésions radiculaires. De plus, les rendez-vous dentaires de suivi sont réduits.

⁴⁶ Nedwed et Miethke, « Motivation, acceptance and problems of Invisalign patients ».

⁴⁷ Serogl, Klages, et Zentner, « Pain and discomfort during orthodontic treatment ».

⁴⁸ Miller et al., « A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment ».

4 : Le système Invisalign®

4.1. Description

Il s'agit d'aligneurs/de gouttières constitués de plastique médical (polycarbonate) thermoformés sur mesure, individualisés et industrialisés, amovibles, confortables et compatibles avec la biochimie humaine (salive, modifications de pH et de température).

La ligne conductrice du système INVISALIGN® est de pouvoir effectuer une planification de la totalité du traitement envisagé à l'avance.⁴⁹

4.2. Principe

Après une prise d'empreintes conventionnelles ou optiques qui sont numérisées et envoyées sur une plateforme en ligne, le praticien indique ses choix de traitements.

Un logiciel appelé ClinCheck® permet alors à des techniciens d'établir une simulation thérapeutique en conception assistée par ordinateur (CAO), c'est-à-dire les différentes étapes impliquant les mouvements dentaires souhaités par le praticien pour aller de la situation initiale vers le résultat escompté (set-up).

La succession des différentes étapes de déplacement apparaît alors sous forme d'un modèle virtuel 3D animé (vidéo).

Suite à cela, afin de pouvoir réaliser les objectifs du traitement choisi et validé ou corrigé par le praticien, commence la fabrication d'une série d'aligneurs par Align Technology®. Ceux-ci seront renvoyés au praticien qui les remettra au patient au fur et à mesure de son traitement.

4.3. Invisalign Go®

Plus récemment, cette firme a développé un « raccourci » en créant INVISALIGN GO® qui propose de corriger le sourire seulement de prémolaire à prémolaire. Cette formule plus intéressante commercialement parlant semble être une hérésie d'un point de vue orthodontique et occluso-fonctionnel. Cela pourrait conduire à des dérives et notamment certains patients et certains praticiens à se satisfaire d'une correction orthodontique antérieure sans tenir compte du reste ce qui pourrait engendrer des désordres occlusaux, des défauts esthétiques.

⁴⁹ Bouchez, *Les traitements orthodontiques Invisalign®*.

Autant dire qu'il faut rester très prudent vis-à-vis de ces variantes et continuer à traiter le patient d'un point de vue global.

L'apparente simplicité du déplacement dentaire par informatique et la démocratisation de la technique de traitement orthodontique par aligneurs aux omnipraticiens ne signifie pas que chacun est en mesure de pratiquer ces thérapeutiques.

Une formation orthodontique préalable est nécessaire et l'analyse approfondie de chaque cas est indispensable.

4.4. Invisalign Teen®

Invisalign Teen® fonctionne sur le même principe que la version classique mais se distingue grâce à des nouvelles fonctions conçues spécifiquement pour les adolescents :

- Des indicateurs de port couleur bleue ont été ajoutés sur les côtés des gouttières afin de pouvoir contrôler l'assiduité dans le port des aligneurs. En théorie, leur couleur varie en fonction de la durée d'exposition à la salive.
- Les appareils pour adolescents permettent d'anticiper et de modifier les gouttières en cas de nouvelles dents définitives.⁵⁰

La limite d'âge du début d'un traitement par aligneurs chez l'enfant ne cesse d'être diminuée mais semble être imposée par l'apparition des 1^{ères} dents définitives : les incisives et les premières molaires permanentes.⁵¹

⁵⁰ Gibert, « Invisalign Teen ».

⁵¹ Chazalon, « Invisalign chez l'adolescent : une alternative au traitement multi attaches ? Illustration à l'aide d'un cas clinique ».

4.5. Le Virtual Invisalign Practionner® (VIP) / Invisalign Doctor Site (IDS) : bureau Invisalign® en ligne / cabinet virtuel Invisalign®

4.5.1. Description

Il s'agit d'une plateforme en ligne permettant aux praticiens de déposer leurs photographies intra et extra-buccales, les documents radiologiques dentaires et crâniens : radiographie panoramique et téléradiographie de profil, et les fichiers issus d'empreintes optiques le cas échéant.

4.5.2. Principe : Les enregistrements cliniques

La qualité du ClinCheck® découle entièrement des différents enregistrements cliniques.

4.5.2.A. Base de travail : les empreintes

Des empreintes précises et de grande qualité sont indispensables à la réalisation d'un ClinCheck® fidèle à la réalité.

Tout le traitement (simulation informatique et fabrication des aligneurs) découlera de ces empreintes d'où leur importance.

Pour cela des porte-empreintes adaptés au patient sont nécessaires.

Plusieurs familles de matériaux peuvent être utilisés. Invisalign® recommande d'utiliser des silicones de différentes viscosités (basse et haute) pour l'empreinte (wash technique en deux temps/deux viscosités) et un silicone d'occlusion pour le mordru occlusal. Il est également envisageable d'utiliser des polyéthers ou d'autres matériaux à partir du moment où ils sont précis, stables dans le temps sans engendrer de déformations notamment pendant le transport jusqu'au traitement des empreintes.

La société Align Technology® refuse toutes les empreintes qui présentent des défauts, à l'exception des petits détails qui peuvent être modifiés par traitement informatique⁵².

4.5.2.B. : Envoi de l'empreinte optique via la plateforme

L'empreinte optique permet d'éviter la manipulation des matériaux d'empreintes et la contrainte pour le patient de les avoir en bouche.

Certains praticiens envoient déjà leurs empreintes optiques via la plateforme mais seulement certains fichiers sont acceptés (fichier .stl). Une compatibilité de la chaîne numérique, c'est-à-dire

⁵² Bouchez, *Les traitements orthodontiques Invisalign®*.

l'interopérabilité, est nécessaire. La société Align Technology® assure alors un traitement plus rapide du cas. Une démocratisation de l'empreinte optique en cabinet semble nécessaire.^{53,54}

4.5.2.C. Photographies

Utiliser un appareil photo numérique permettant de prendre des clichés intra-oraux et extra-oraux de qualité est indispensable en orthodontie.

Des écarteurs et des miroirs intrabuccaux faciliteront la prise des différentes photographies.

Les clichés nécessaires sont :

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

Des retouches pourront être effectuées si jamais un recadrage est nécessaire avant l'envoi des clichés sur la plateforme Virtual Invisalign Practionner® (VIP).

Chaque photographie pourra être envoyée individuellement ou sous la forme d'un bilan composite.

4.5.2.D. Radiographies

En vue de la réalisation du ClinCheck®, les documents radiographiques conseillés (non obligatoires) à communiquer sur le VIP sont :

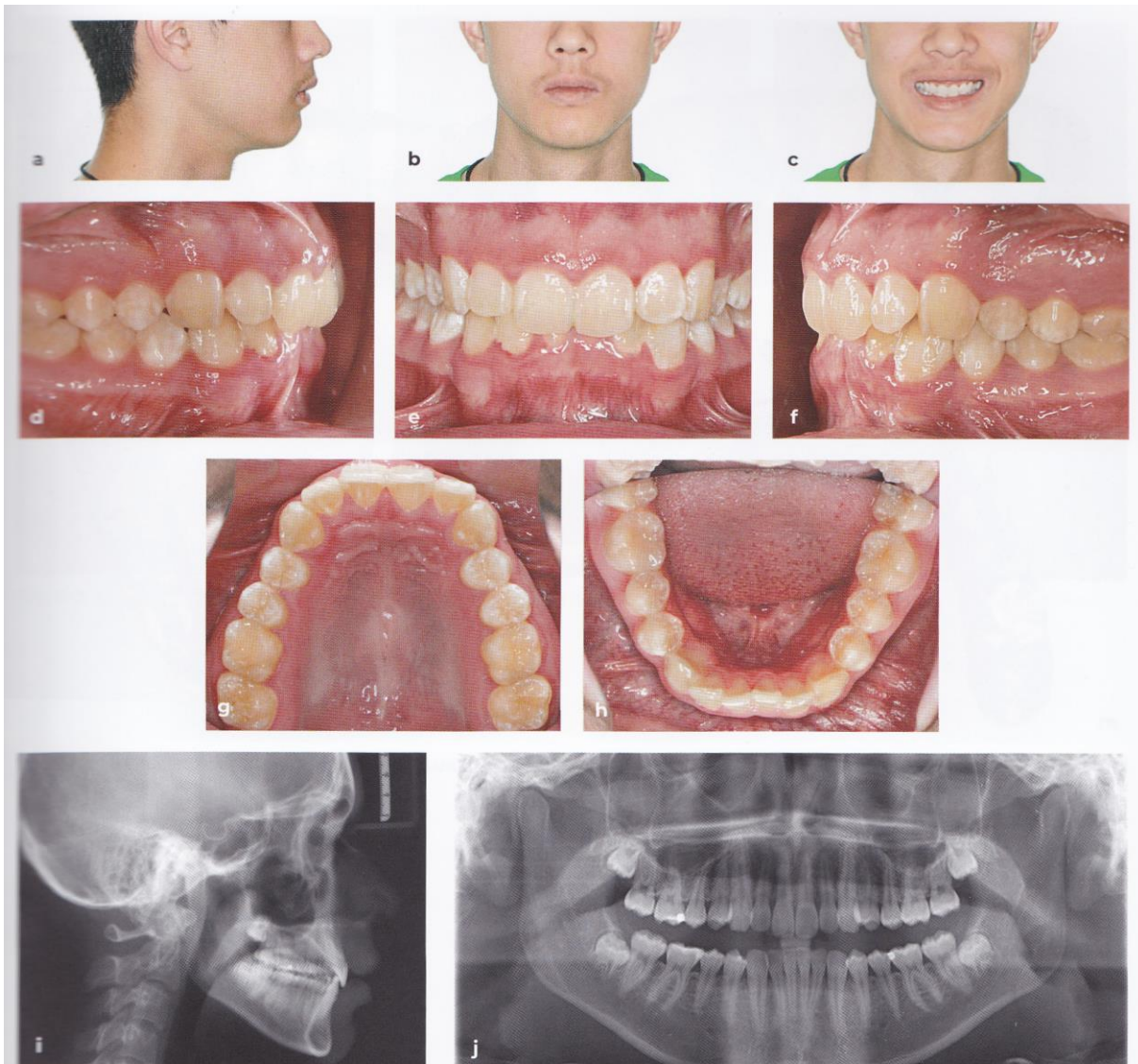
- Un panoramique dentaire
- Une téléradiographie de profil
- Un bilan long cône

Récemment la firme française SMILER® vient de mettre au point une technologie permettant de superposer l'empreinte optique des arcades dentaires au cone beam du patient ce qui permet d'appréhender l'inclinaison des racines dentaires et de ne plus simplement se reporter au panoramique dentaire pour les axes des racines. Les mouvements de couronnes dentaires réalisés lors du ClinCheck® sont maintenant réalisables en prenant également en compte les racines dentaires.

⁵³ Demange et Uldry, « L'orthodontie numérique au quotidien ».

⁵⁴ Felenc et Jaisson, « Comprendre la CFAO 4D ».

Figures 9 a à j : Bilan photographique et radiographique complet (composite)



Source : Tai, *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*, 2018

4.5.2.E. Perspective

Dans le futur, on peut imaginer réaliser un seul scanner crânien qui permettrait par traitement informatique l'enregistrement du visage (individualisation peau, muscles, os du crâne, articulations temporo-mandibulaires), des maxillaires, des dents avec leurs racines en 3D pour un meilleur contrôle des axes (anatomie radiculaire : taille/forme ; implantation osseuse).

Cela permettrait une réduction du nombre d'enregistrements cliniques et radiographiques donc une réduction du risque d'erreurs.

De la même manière que le permettent déjà les téléradiographies de profil en 2D, ces clichés uniques affinaient le diagnostic en 3D :

- avant traitement en ayant la position des tissus mous et notamment des lèvres par rapport aux arcades dentaires.

- après traitement en comparant les repositionnements dentaires et/ou en superposant la croissance par rapport à la situation initiale.

L'analyse des forces nécessaires serait alors totalement individualisée par le calcul de la surface radiculaire de chaque dent ; en effet c'est la pression exercée sur les surfaces ligamentaires qui déclenche les recrutements cellulaires.

4.5.3. Charte de prescription thérapeutique

Le praticien est alors invité à remplir la charte de prescription thérapeutique du Virtual Invisalign Practionner® (VIP) qui correspond à différents champs.

Ces champs se remplissent en cochant des cases ou en ajoutant des commentaires.

Ils seront la source d'informations auxquelles auront accès les techniciens Invisalign® en vue de la réalisation du ClinCheck® :

- Arcades traitées
- Dents à déplacer
- Taquets à placer
- Détermination de la ligne des milieux inter-incisifs
- Surplomb
- Supraclusion
- Rapports antéro-postérieurs
- Inversé d'articulé postérieur
- Résoudre les diastèmes et encombrements
- Dysharmonie dento-dentaire
- Surcorrection
- Préférences de traitement
- Instructions spéciales

Des choix s'offrent au praticien : réaliser des réductions inter-proximales (RIP ou stripping), une distalisation, une fermeture ou un maintien de diastèmes/d'espaces, modifier la version incisive, des extractions, faire de l'expansion...

Ces choix doivent être clairement définis.

Ils sont issus d'un diagnostic précis quadri dimensionnel et des objectifs de traitement en découlent. C'est le praticien prescripteur qui est le seul responsable de son traitement et de ses choix thérapeutiques.

4.6. Stratégie de traitement : le ClinCheck®

4.6.1 Le séquençage

Le ClinCheck® est une application logiciel propriétaire permettant de visualiser les étapes du traitement jusqu'au résultat final par une modélisation en 3D des mouvements dentaires, autrement dit un set-up animé informatisé préalable.

Sa finalité est de pouvoir choisir la solution thérapeutique la plus adaptée en obtenant une durée de traitement la plus réduite possible en fonction de la situation clinique à traiter.

À partir des empreintes scannées par rayons X ou bien des empreintes optiques, Invisalign® crée le modèle virtuel final en fonction des indications du praticien.

Les unités dento-alvéolaires sont séparées individuellement et réintégrées au modèle de travail.

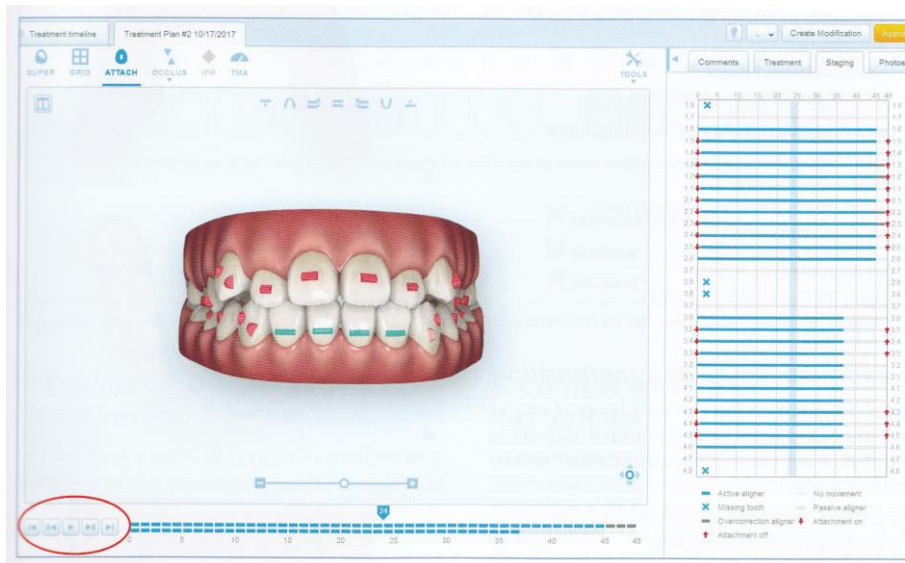
Une reproduction virtuelle de l'axe, la position, les points de contact des dents, la situation de la gencive est réalisée.

C'est alors que le plan de traitement est appliqué et que les mouvements sont mis en séquence par le logiciel TREAT®.

Le praticien reçoit alors la simulation de traitement initiale qu'il peut modifier à souhait jusqu'à satisfaction. Il peut ainsi visualiser chaque mouvement, chaque étape thérapeutique, ou le traitement dans sa globalité.

Il peut demander plusieurs plans de traitements et recevoir plusieurs ClinCheck® afin de les comparer et de choisir le plan de traitement le plus adapté (exemple : avec ou sans extractions).

Figure 10 : Visualisation des étapes temps par temps sur un ClinCheck



Source : Tai, *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*, 2018

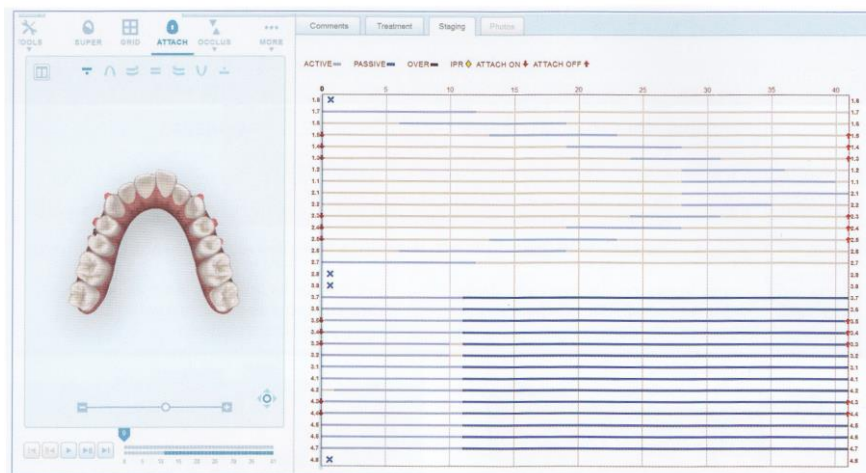
4.6.2. Contrôle des déplacements dentaires

La finalité d'un traitement orthodontique est de contrôler les déplacements dentaires dans les 3 sens de l'espace, de ramener leur nombre au minimum nécessaire, et d'éviter les mouvements parasites.

On cherche donc à contrôler la force à appliquer sur les dents.

Les limites de la vitesse, la direction et la fréquence des déplacements dentaires nous sont imposées par la biologie.

Figure 11 : Temps par temps pour la distalisation séquentielle des molaires maxillaires



Source : Tai, *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*, 2018

Sur la figure 11, du stade 1 au stade 12 seules les secondes molaires maxillaires se déplacent le reste des dents maxillaires de la première molaire à la première molaire servent de segment d'ancrage.

4.6.3. Contrôle de l'espace disponible

Les réductions interproximales (RIP) amélares ou stripping sont une méthode de correction des encombrements dans les traitements orthodontiques adultes.

Même s'il s'agit en théorie d'une atteinte du tissu amélaire superficiel et que certaines réticences peuvent être émises, cela peut permettre d'éviter la perte d'une ou plusieurs dents.

Figure 12 : Réduction interproximale (stripping)



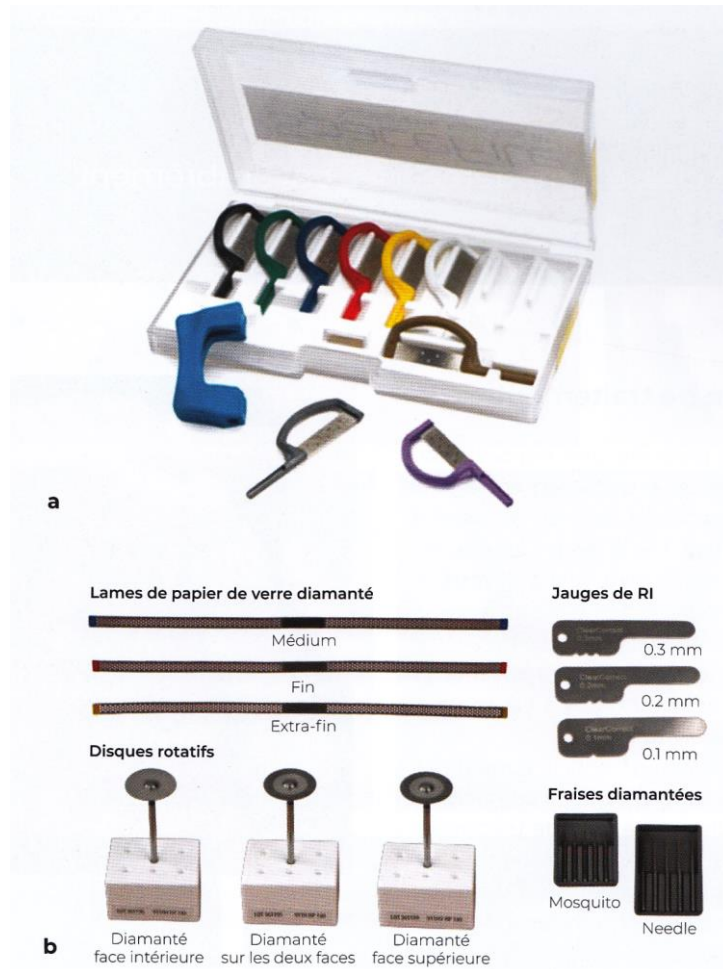
Source : Tai, *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*, 2018

De plus, cela permet de diminuer la durée du traitement.

Les indications sont posées dent par dent, et le timing en fonction des étapes est établi ; la charte de stripping ainsi construite est suivie méticuleusement. Chaque stripping est effectué en respect de l'anatomie (points de contact), mesuré par des jauges, soigneusement poli.

Les RIP sont réalisées soit à l'aide de disques diamantés de différents diamètres comportant une ou deux faces abrasives, soit avec des fraises turbine calibrées, soit avec des strippers mini-scies sur contre angle. Les finitions peuvent être réalisées à l'aide de papier abrasif.

Figures 13 a et b : Lames de papier de verre diamanté, scies de stripping interproximales, disques rotatifs et fraises diamantées à grande vitesse pour les réductions interproximales



Source : Tai, *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*, 2018

4.6.4. Contrôle de la perte d'ancrage

4.6.4.A. L'espace d'extraction

Un espace d'extraction peut être :

- Diminué (fermeture d'espace)
- Conservé (pré-prothétique/implantaire)
- Augmenté (pré-prothétique/implantaire)

Il est possible d'intégrer une dent artificielle en composite dans l'aligneur appelé « espace pontique ». Cela préserve l'esthétique de cette zone et peut même aider à conserver l'ancrage.

4.6.4.B. La traction élastique inter-maxillaire

Afin de réduire un décalage dentaire de classe II ou III d'Angle ou de contrôler l'ancrage, on peut utiliser des élastiques de traction inter-maxillaire que l'on accroche sur des encoches ou des boutons collés sur certaines dents. La pose d'une minivis permet aussi un contrôle d'ancrage.

Figure 14 : Tractions intermaxillaires de classe II, aligneur avec encoche et bouton collé



Source : Schupp, Haubrich, et Mourlaas, *Les aligneurs en orthodontie*, 2017

Figure 15 : Aligneurs sectionnés avec des boutons collés pour le port d'élastiques verticaux pour fermer une béance postérieure.



Source : Tai, *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*, 2018

4.6.4.C. La perte d'ancrage contrôlée

Suite à des extractions, on peut décider de fermer les espaces avec une perte contrôlée d'ancrage, c'est-à-dire qu'on va laisser se mésialiser les dents postérieures. La difficulté, et elle est marquée, réside alors dans le contrôle des axes radiculaires pour l'obtention d'une translation pure, sans effet de mésioversion.

5 : Les attachements : matériaux et biomécanique

5.1. Les attachements

Le praticien contrôle le nombre, le type, la position des attachements, leur moment de pose et de retrait.

On distingue les taquets conventionnels et les taquets optimisés qui sont calculés par le logiciel afin d'optimiser au mieux les déplacements dentaires (efficacité supérieure).

Ceux-ci sont choisis en fonction du type de mouvements à effectuer et de l'anatomie des dents.

Ils peuvent être « actifs » pour déplacer une dent, ou servir à une meilleure rétention de l'aligneur.

Ils sont placés par défaut par les techniciens.

Il existe différents types d'attachements qui peuvent être de formes géométriques : ovales, en ellipse, rectangulaires ou biseautés. Ils se situent sur la face vestibulaire ou sur la face linguale dentaire.

Ils sont réalisés à l'aide d'un composite fluide photopolymérisable mis en place dans un aligneur spécifique qui s'appelle « Template » qui est ensuite positionné en bouche.

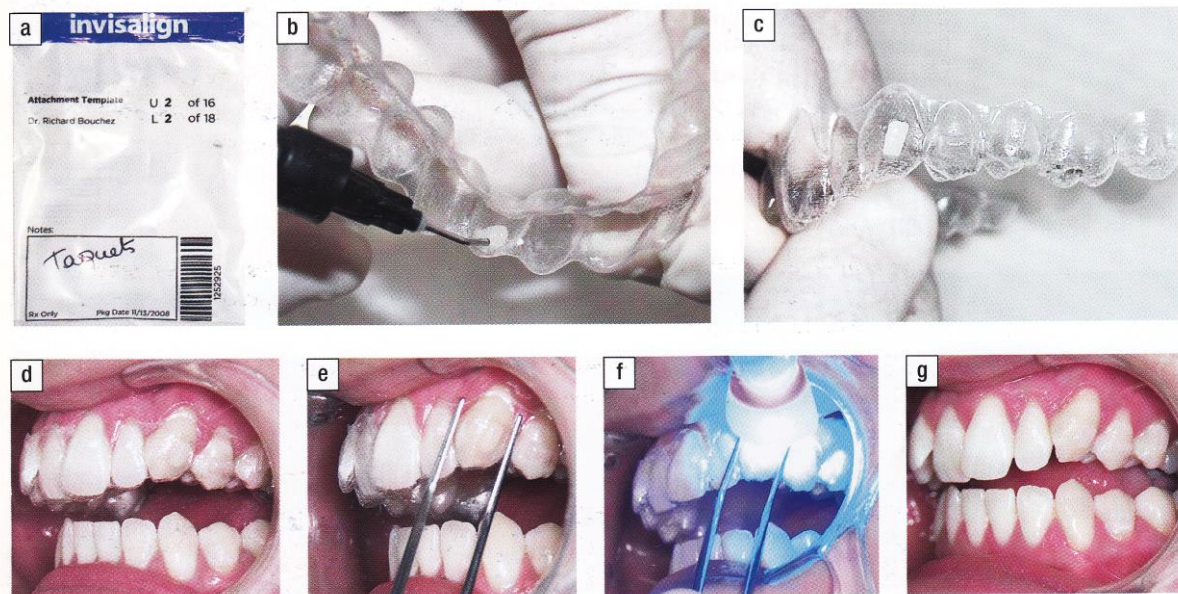
La prise de teinte avant collage est indispensable afin d'optimiser au mieux l'esthétique.

Cet aligneur présente une déformation du polycarbonate réalisée au contour de l'attachement désiré.

Il s'agira ainsi d'un moule de fabrication et de positionnement de l'attachement choisi.










Figure 16 : Protocole de collage des attachements

- a) réception du template
- b) remplissage du template avec du composite
- c) vérification du remplissage du template avec du composite
- d) template positionné en bouche
- e) template plaqué contre la dent
- f) photopolymérisation du composite à travers le template correctement positionné en bouche
- g) retrait du template et vérification du collage de l'attachement



Source : Bouchez, *Les traitements orthodontiques Invisalign®*, 2009

Figure 17 : Exemples d'utilisations de différents types de taquets (conventionnels ou optimisés)

Gamme de taquets optimisés et conventionnels		
SITUATION	TAILLE PAR DÉFAUT ET POSITION	EXEMPLES
Contrôle radiculaire des incisives maxillaires centrales et latérales	Taquets optimisés de contrôle radiculaire : sur les incisives latérales, un taquet vestibulaire jusqu'à deux points de pression si nécessaire	
Contrôle radiculaire des canines et des prémolaires	Taquets optimisés de contrôle radiculaire : sur les prémolaires, deux taquets vestibulaires (si l'espace le permet) ou un taquet et un point de pression	
Mouvements dans plusieurs plans des incisives latérales maxillaires	Taquets optimisés avec plusieurs fonctionnalités : un taquet optimisé sur la face vestibulaire et un point de pression du côté lingual (si nécessaire)	
Canines et prémolaires en rotation	Taquets optimisés de rotation	
Égression d'une dent et d'un groupe de dents	Taquets optimisés d'égression	
Extractions de prémolaires et fermeture de l'espace	Taquets optimisés de contrôle radiculaire sur la canine et taquet rectangulaire vertical de 1 mm placé sur les deux dents adjacentes au site d'extraction	
Extraction d'une incisive mandibulaire et fermeture de l'espace	Taquet vertical rectangulaire de 1 mm placé sur les deux dents adjacentes au site d'extraction	
Ingression antérieure sans prémolaire en rotation	Taquet horizontal biseauté en occlusal, placé bilatéralement sur la première prémolaire de chaque quadrant	
Ingression antérieure avec prémolaire en rotation	Taquet horizontal biseauté en occlusal : taquet optimisé appliqué sur les premières prémolaires qui sont en rotation, si toutes les deux sont en rotation aucun taquet de contention n'est nécessaire	

Source : Tai, *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*, 2018

Les attachements biseautés permettent une insertion facilitée de l'aligneur ainsi qu'une amélioration esthétique en raison de l'absence d'ombre le long du bord incisif de l'attachement.

5.2. La biomécanique des mouvements dentaires avec les taquets conventionnels Invisalign®⁵⁵

Une force de 18 gr suffit à induire un mouvement dentaire.

La force délivrée par un aligneur Invisalign® en EX30 Polyuréthane, est initialement de 200 gr, en se décomposant en paliers constants de 40 gr en moins d'une heure.

5.2.1. L'égression

On utilise fréquemment des attaches ovales horizontales pour le mouvement d'égression plus discrètes que les attaches rectangulaires horizontales qui peuvent également être utilisées.

Elles peuvent être placées sur les incisives afin de corriger une béance.

5.2.2. L'ingression

Il s'agit du mouvement le plus compliqué car il est anti-physiologique.

Des auxiliaires tels que les mini-vis avec traction élastique pourront être utilisés au préalable.

Les attaches rectangulaires horizontales/biseautées sont efficaces pour le mouvement d'ingression.

Des taquets de rétention sont placés sur les dents de part et d'autre de celle(s) qui nécessite(nt) ce mouvement d'ingression afin d'éviter la désinsertion de l'aligneur. Ces attachements servent d'ancrage pour l'ingression. Leurs visibilité sur la face vestibulaire des incisives peuvent entraîner une gêne esthétique pour le patient qui doit être prévenu préalablement.

5.2.3. La rotation

On utilise essentiellement des attaches rectangulaires verticales pour le mouvement de rotation.

Ces attaches sont nécessaires pour corriger les rotations des dents anatomiquement rondes : canines et prémolaires.

Il s'agit d'un mouvement compliqué et l'utilisation d'auxiliaires tels que les élastiques de traction intermaxillaire ou des chaînettes élastomériques pourront être utilisés en amont pour effectuer une dérotation.

⁵⁵ Tuncay, *The Invisalign system*.

5.2.4. La translation

On peut utiliser les attaches rectangulaires verticales pour des mouvements de translation notamment lors de fermetures d'espaces post-extractionnels.

Afin de réaliser une translation en évitant la version dentaire, il est nécessaire que la force orthodontique soit générée le plus près possible du centre de résistance dentaire ou qu'un moment contre-balançant y soit associé.

Afin d'effectuer un mouvement de translation pure et de garder un parallélisme des racines en évitant les versions, on peut utiliser des auxiliaires tels que les minivis qui se rapprochent du centre de résistance des dents et sur lequel on place des élastiques.

Cela permet de contrôler la version de la racine pendant son mouvement.

5.2.5. Le contrôle du torque

Lors du mouvement des dents par les aligneurs, l'axe des racines souhaité n'est pas toujours l'axe obtenu. En effet, il peut ne pas y avoir assez de rétention pour compenser la force nécessaire qui induit le mouvement. D'où l'importance de la forme et de la position des attachements.

Il est nécessaire que celui-ci soit de taille suffisante pour engendrer une surface adéquate qui permettra l'expression du torque.

De plus, les attachements doivent être positionnés à distance de la gencive marginale afin d'obtenir un ancrage et une adaptation facilités de l'aligneur sur eux.

Ainsi, la forme de l'attachement s'exprime cliniquement par un certain mouvement radiculo-lingual qui constitue le contrôle du torque.

Afin de contrôler le torque incisif, on peut également avoir recours aux Power Ridges® d'Invisalign® qui sont des rectangles imprimés dans la gouttière thermoformée.

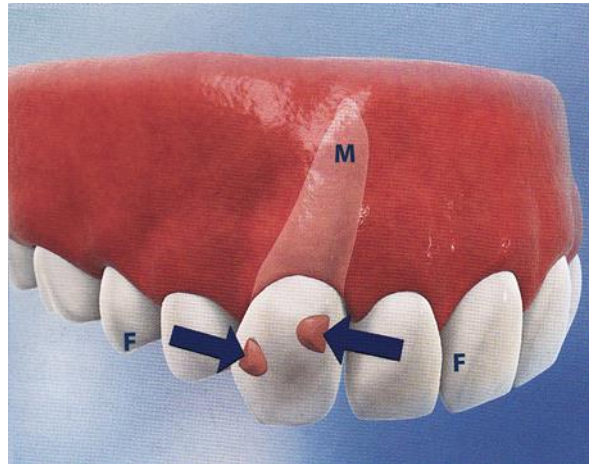
La finalité des Power Ridges® est d'aider à mieux redresser les incisives maxillaires ou mandibulaires (contrôle du torque).

Ils sont placés sur les faces vestibulaires des incisives par déformation dans la gouttière ce qui peut les rendre visibles lors du sourire (possible gêne esthétique des patients).

5.2.6. Le parallélisme des racines

Un contrôle à l'aide d'un panoramique dentaire avant la fin du traitement est nécessaire pour contrôler le bon parallélisme des racines.

Figure 18 : Contrôle de l'orientation radulaire, ici on souhaite effectuer une version mésio-distale de la canine



Source : Schupp, Haubrich, et Mourlaas, Les aligneurs en orthodontie, 2017

Les attaches rectangulaires verticales et les taquets optimisés seront utiles pour les corrections d'axes. Exemple : extraction non compensée avec mésio-version, en vue d'une préparation à un site implantaire ou prothétique.

6 : La contention

Pour tout traitement orthodontique une contention en fin de traitement est indispensable.

Elle se décide au moment du plan de traitement, et se réévalue en fin de traitement, en fonction des éventuelles difficultés rencontrées, des troubles fonctionnels persistants.

Le choix de la contention s'effectue entre :

- des contentions collées sur la face linguale des dents antérieures maxillaires et/ou mandibulaire (attelles fibrées, fils métalliques) en général de canine à canine
- des contentions amovibles (plaques de Hawley, gouttières de contention), voire la combinaison des deux.

Il est communément admis que plus le traitement a été long, plus la stabilité sera importante.

À l'inverse, un traitement qui aura été réalisé sur un laps de temps très court orientera davantage le praticien à combiner les techniques de contention.

En début de contention, si les contentions amovibles ont été choisies, le patient devra les porter à temps plein au début de la période de contention, et réduira progressivement leur port par la suite.

Avant l'enregistrement des arcades dentaires pour la contention, tous les taquets et les boutons sont retirés.

Un nettoyage de l'ensemble des dents est réalisé (résidus composites, tartre).

Une empreinte optique ou avec des matériaux d'empreintes est alors réalisée afin de fabriquer la contention souhaitée.

Une surveillance du patient par l'orthodontiste est indispensable pendant la période de contention afin d'éviter les récives et de maintenir une stabilité de l'occlusion finale.⁵⁶

En ce qui concerne l'extraction des dents de sagesse, l'orthodontiste doit décider avant le traitement et/ou après le traitement si elles doivent avoir lieu. Des examens radiographiques lui permettront de réévaluer cette nécessité.

⁵⁶ Tai, *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*.

7 : Perspectives

7.1. Thermoformage des aligneurs à partir du séquençage des modèles directement au cabinet

Le thermoformage consiste à mettre en forme à chaud des produits thermoplastiques constitués de polymères.

Figure 19 : Plaques thermoformables utilisées au cabinet et thermoformeuse Biostar®



Source : Bouchez, *Les traitements orthodontiques Invisalign®*, 2009

7.1.1. Avantages

7.1.1.A. Autonomie

Il est possible de s'équiper directement au cabinet :

- de la chaîne numérique constituée d'une caméra optique permettant la prise des empreintes 3D
- d'un logiciel permettant une simulation thérapeutique en conception assistée par ordinateur (Orthostudio®, Orthoanalyzer®, Onyx Ceph®...)⁵⁷
- d'imprimantes 3D qui permettront l'impression des modèles correspondants à chaque étape du traitement
- de thermoformeuses ainsi que de plaques de plastiques thermoformables.

⁵⁷ Setbon, « Conférence « l'orthodontie par aligneurs aujourd'hui ».

Il existe à ce jour 9 catégories d'impression 3D :

- FDM (Fused Deposition Modeling)
- SLA (StereoLithographie Apparatus)
- DLP (Digital Light Processing)
- SLS (Selective Laser Sintering)
- SLM (Selective Laser Melting)
- EBM (Electron Beam Melting)
- LOM (Laminated Object Manufacturing)
- BJ (Binder Jetting)
- MJ (Material Jetting)

Les techniques les plus répandues dans les cabinets pour l'impression des modèles correspondants à chaque étape du traitement sont :

- la SLA (StereoLithographie Apparatus).

Cette technologie consiste à polymériser (durcir) une résine liquide photosensible à l'aide d'un laser UV. Le plateau de construction est immergé dans un bain de résine. Seule une très fine couche de résine liquide se trouve entre le plateau et le laser UV. Le laser dessine la trajectoire de la première couche sur la surface de la résine liquide qui se durcit instantanément pour former la première couche de l'objet 3D. La résine qui n'a pas été « touchée » par le laser reste à l'état liquide. Ensuite, le plateau se déplace sur l'axe Z, la résine liquide se trouve désormais entre la première couche de l'objet imprimé et le laser. Ce dernier dessine la trajectoire de la seconde couche et la résine liquide se durcit et reste au contact de la première couche. Le processus se répète et les couches de résine durcies forment un objet en 3 dimensions. Un post-traitement est souvent nécessaire puisqu'il faut nettoyer l'objet au solvant.

- La technologie DLP (Digital Light Processing)

L'impression 3D DLP utilise également de la résine liquide photosensible mais au lieu d'avoir un laser UV qui dessine une trajectoire, c'est un projecteur qui envoie une lumière sur un miroir. Ce dernier est composé de minuscules petits miroirs individuels qui peuvent s'incliner. Lorsque l'un d'eux s'incline, la lumière qu'il reçoit du projecteur est renvoyée vers le bain de résine liquide qui se durcit instantanément à cet endroit. Chaque petit miroir correspond à un pixel. Les imprimantes 3D DLP peuvent ainsi imprimer une couche complète juste en orientant plusieurs petits miroirs. L'impression

3D d'une couche en un instant fait que cette technologie est plus rapide que l'impression 3D SLA. Elle offre également une excellente résolution.⁵⁸

Selon la norme industrielle, la vitesse d'impression 3D est définie comme la quantité de volume pouvant être transformée en solide par unité de temps. Traditionnellement, les imprimantes 3D à faible coût sont lentes en raison de leurs méthodes inefficaces de rendu des objets 3D. Les imprimantes à dépôt de filament (FDM / FFF) et laser SLA sont parmi les plus lentes en raison de leur nécessité de tracer essentiellement un modèle entier ligne par ligne. Une meilleure façon de construire un objet 3D géométriquement est de projeter chaque tranche sur un bain de liquide et de le rendre une couche à la fois. Le traitement de lumière numérique (DLP) et les imprimantes LCD fonctionnent de cette façon et sont, par conséquent, les imprimantes 3D de bureau les plus rapides à ce jour.

Malgré tout, ces machines restent limitées. Les deux DLP et LCD utilisent la photo-polymérisation, une réaction chimique exothermique qui génère une grande quantité de chaleur sur l'interface de séparation mince. Lors de l'impression de gros objets solides à grande vitesse, la température peut atteindre rapidement 260 à 315°Celsius et endommager le film. A cause de ce problème, l'imprimante ne peut pas aller plus vite. Le potentiel des imprimantes DLP pour les impressions rapides est ralenti par sa structure optique, qui doit rester sans obstacle ce qui limite la quantité de chaleur pouvant être extraite de l'interface.

Pour surmonter ce problème, des fabricants d'imprimantes 3D comme SLASH Plus® de chez Uniz3D® utilisent une méthode spécifique d'exposition au contact de l'écran LCD qui permet d'intégrer le refroidissement liquide aussi près que possible de l'interface. Cela permet d'extraire une grande quantité de chaleur et permet d'imprimer de gros objets solides à une vitesse plus élevée que la plupart des autres imprimantes 3D de bureau.⁵⁹

Une fois les modèles imprimés, les plaques de plastiques thermoformables sont thermoformées dessus.

Par la suite, les gouttières sont découpées, polies et nettoyées afin d'être remises aux patients.

Cela permet d'avoir une autonomie et un contrôle dans toute la chaîne de conception et de fabrication des aligneurs.

⁵⁸ Notteau, « Tout savoir sur les technologies d'impression 3D ».

⁵⁹ Atome3D.com, « Uniz3D - Slash plus - imprimante 3D résine LCD ».

7.1.1.B. Coût

Les sociétés commercialisant les aligneurs pratiquent des tarifs variables mais en général assez conséquents pour :

- La simulation thérapeutique en conception assistée par ordinateur (CAO) c'est-à-dire les différentes étapes impliquant des mouvements dentaires entre le cas initial et le résultat souhaité (set-up).
- La conception et l'envoi des aligneurs.

Dans un but commercial, leurs tarifs sont en général dégressifs en fonction du nombre de cas traités. La conception des aligneurs directement au cabinet permet de se décharger de ces coûts commerciaux à chaque cas orthodontique traité.

7.1.2 Inconvénients

7.1.2.A. Coût

Investir au cabinet dans la caméra optique, un logiciel permettant une simulation thérapeutique en conception assistée par ordinateur, les imprimantes 3D, les thermoformeuses ainsi que de plaques de plastiques thermoformables représente un coût très important à l'installation.

Un entretien régulier des machines et le coût des réparations en cas de défaillance est à prendre en compte.

Cependant, sur le long terme, un retour sur investissement et des bénéfices sont envisageables.

7.1.2.B. Compétences informatiques : nouveau métier ou nouvelles formations des praticiens ou des assistantes dentaires ?

Le métier d'orthodontiste à travers les techniques d'aligneurs évolue progressivement du « technicien du fil » à la notion « d'ortho-prothésiste ».

Cette transition ne remet en aucun cas en cause les données et l'efficacité des autres techniques orthodontiques qui devront évidemment être acquises pour une compréhension globale de la spécialité et une utilisation en cas de besoin face à des cas complexes.

Cependant elle requiert de nouvelles compétences spécifiques à la technique des aligneurs, notamment informatiques.

Ainsi des formations spécifiques sont nécessaires aux praticiens qui souhaitent s'orienter vers cette technique orthodontique. Ils devront appréhender la biomécanique spécifique de ces appareils et appliquer ces notions lors de la conception informatique du traitement.

L'évolution du métier concerne également celui de l'assistante dentaire qui devra elle aussi se former à la réalisation des gouttières.

Il existe une controverse actuelle concernant le travail des assistantes en bouche notamment en ce qui concerne les empreintes et les photographies.

Une évolution des mentalités permettra dans le futur des formations spécifiques dédiées aux assistantes dentaires qui revaloriseront la profession et seront gratifiantes pour la pratique de ce métier. Tout cela dans l'optique d'un travail d'équipe efficace au sein du cabinet d'orthodontie.

Praticiens et assistantes seront tous deux amenés à surveiller le bon port des aligneurs, l'hygiène dentaire du patient. Un suivi sérieux et régulier impliquant un travail de coaching personnalisé du patient par l'équipe lui permettra d'être acteur de ses soins et de mener son traitement à bien.

7.1.2.C. Temps passé à la conception 3D

Le temps passé au fauteuil et en bouche diminue significativement lors des rendez-vous pour être remplacé par un travail informatique préalable du praticien.

Des plages horaires supplémentaires de travail informatique devront être planifiées pour le praticien.

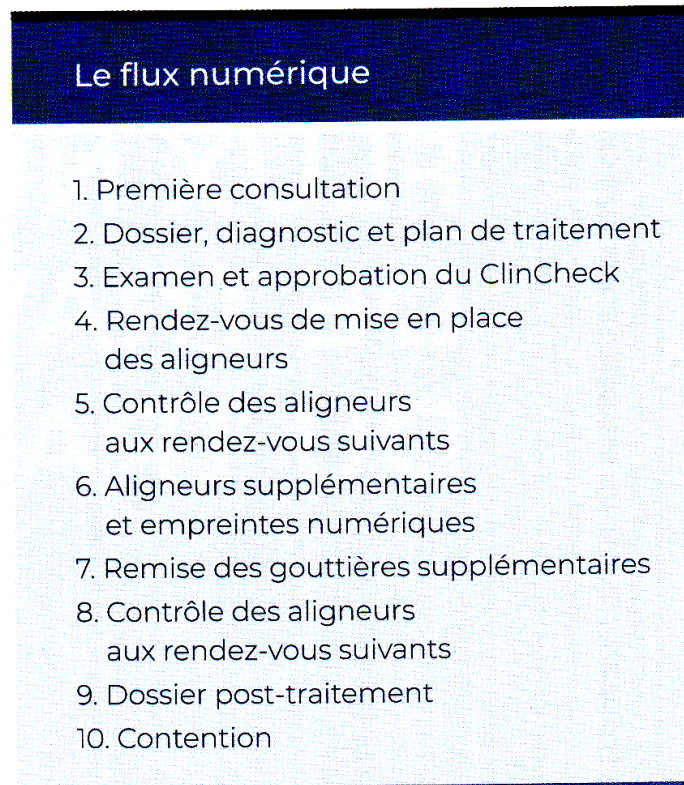
La séquence de rendez-vous types lors d'un traitement par aligneurs est la suivante :

- 1^{er} rendez-vous : Rencontre du patient, analyse du cas, explication du traitement et du devis, prescription des examens complémentaires (panoramique, téléradiographie de profil +/- cone beam).
- 2^{ème} rendez-vous : Prise des empreintes optiques et des photographies extra et intra-buccales.

Certains cabinets fusionnent les deux premiers rendez-vous en prescrivant les examens complémentaires avant le premier rendez-vous ou en les effectuant directement sur place si le cabinet est équipé.

- 3^{ème} rendez-vous : Essayage des aligneurs, explication au patient pour la pose et le port ainsi que les conseils d'hygiène.
- Nombre variable de rendez-vous pour le suivi et la vérification du port des aligneurs, remise des aligneurs suivants.
- Décision de la réalisation d'une nouvelle empreinte optique pour des aligneurs de finition
- Empreinte pour la contention choisie si technique indirecte
- Pose de la contention choisie
- Suivi et maintenance.

Figure 20 : Séquence de rendez-vous types lors d'un traitement par aligneurs



Source : Tai, *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*, 2018

7.2. Usinage des aligneurs directement depuis le logiciel permettant une simulation thérapeutique en conception assistée par ordinateur

La grande avancée attendue avec les progrès de l'industrie et des techniques d'impression 3D qui révolutionnerait cette technique orthodontique serait l'usinage en direct des aligneurs depuis les informations transmises par le logiciel permettant une simulation thérapeutique en conception assistée par ordinateur.

Cette vision raccourcie de la chaîne de fabrication effacerait les parties les plus chronophages, c'est-à-dire la fabrication de l'ensemble des modèles orthodontiques séquencés, le thermoformage des gouttières, la découpe et le polissage.

Les coûts de fabrication, l'économie de matériaux et le temps de fabrication serait alors considérablement réduit.

L'orthodontiste serait alors en mesure dans un même rendez-vous avec le patient de réaliser l'analyse du cas à partir des examens cliniques et radiographiques, prendre l'empreinte optique et réaliser une simulation thérapeutique en conception assistée par ordinateur. Une fois validée par le patient,

l'usinage en direct avec les imprimantes 3D permettrait de donner les premiers jeux de gouttières au patient.

Actuellement, l'impression 3D de gouttières d'alignement en polymères aussi fines n'est pas encore réalisable en raison de la technologie et le thermoformage reste nécessaire pour la précision de ces dispositifs médicaux.

Conclusion

Les aligneurs semblent être l'avenir de l'orthodontie.

Ils font évoluer notre manière de penser et de soigner.

Le métier de l'orthodontiste « technicien du fil » évolue et la notion « d'ortho-prothésiste » s'inscrit progressivement dans la pratique.

L'orthodontie numérique connaît une évolution exponentielle et permanente depuis plusieurs années.

La thérapeutique par aligneurs, toujours en développement, est une technique récente qui ne demande qu'à être améliorée dans les années à venir.

Une maturation technologique du système est à prévoir.

Il s'agit avant tout d'un progrès de l'arsenal thérapeutique, une véritable alternative aux traitements multi-attaches.

Les aligneurs répondent à une demande croissante des patients qui souhaitent un traitement rapide, avec un appareil esthétique, et qui refusent la visibilité d'un traitement multi-attaches.

De plus, les aligneurs peuvent être utilisés conjointement à d'autres thérapeutiques orthodontiques.

Les possibilités de traitement sont multiples et continueront d'évoluer vers de nouvelles perspectives.

Au-delà des évolutions techniques et scientifiques, un progrès majeur est la planification des traitements orthodontiques grâce aux logiciels permettant une simulation thérapeutique en conception assistée par ordinateur. Ces innovations accompagnées de la maîtrise de l'outil informatique nous donnent une prévisualisation du résultat final, mais aussi des différentes étapes pour y parvenir.

La prévisualisation du traitement permet d'exposer au patient les résultats escomptés ce qui facilite la compréhension et la communication. La notion de consentement éclairé prend alors tout son sens. Grâce à cette technique, le praticien dispose d'un contrôle thérapeutique poussé.

La réflexion mise en place, fait appel à nos connaissances théoriques orthodontiques et à l'expérience clinique afin d'améliorer la prédictibilité du déroulé et du résultat final du traitement.

Il est essentiel de bien garder à l'esprit que ces innovations technologiques ne sont là que pour nous aider dans notre traitement et que notre sens clinique reste capital.

Toute technique orthodontique, ne dispense pas de rester « maître à bord ». ⁶⁰

⁶⁰ Chazalon, « Invisalign®, 15 ans après, est-il devenu une véritable alternative au traitement multi-attaches ? »

Bibliographie

- Apajalahti, S., et J. S. Peltola. « Apical root resorption after orthodontic treatment : a retrospective study ». *European journal of orthodontics* 29, n° 4 (2007) : 408-12. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjm016>.
- Atome3D.com. « Uniz3D - Slash plus - imprimante 3D résine LCD ». Atome3D.com. Consulté le 12 février 2019. <https://www.atome3d.com/products/uniz3d-slash-plus-imprimante-3d-resine-lcd?ls=fr-FR>.
- Averlant-Dubois, C. « Les polymères de thermoformage ». *L'orthodontie française* 80, n° 1 (2009) : 69-78. <https://doi.org/10.1051/orthodfr/2008033>.
- Ballard, D. J., A. S. Jones, P. Petocz, et M. A. Darendeliler. « Physical properties of root cementum : part 11. Continuous vs intermittent controlled orthodontic forces on root resorption. A microcomputed-tomography study ». *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 136, n° 1 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.07.026>.
- Barbagallo, L. J., Allan S. Jones, P. Petocz, et M. A. Darendeliler. « Physical properties of root cementum : part 10. Comparison of the effects of invisible removable thermoplastic appliances with light and heavy orthodontic forces on premolar cementum. A microcomputed-tomography study ». *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 133, n° 2 (2008) : 218-27. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.01.043>.
- Bouchez, R. *Les traitements orthodontiques Invisalign®*. Paris : Quintessence internationale, 2009.
- Boyd, R. L. « Complex orthodontic treatment using a new protocol for the Invisalign appliance ». *Journal of clinical orthodontics* 41, n° 9 (2007) : 525-47.
- Boyd, R. L., et A. A. Dugoni. « Improving periodontal health through Invisalign treatment ». *Access* 19, n° 9 (2005) : 24-26.
- Boyd, R L, P J Leggott, R S Quinn, W S Eakle, et D Chambers. « Periodontal implications of orthodontic treatment in adults with reduced or normal periodontal tissues versus those of adolescents ». *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 96, n° 3 (1989) : 191-98.
- Breznia, N., et A. Wasserstein. « Root resorption after orthodontic treatment : part 2. » *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 103, n° 2 (1993) : 138-46. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(05\)81763-9](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(05)81763-9).
- Chazalon, J.-F. « Invisalign®, 15 ans après, est-il devenu une véritable alternative au traitement multi-attaches ? » *Revue d'orthopédie dento-faciale* 50, n° 3 (2016) : 275-301. <https://doi.org/10.1051/odf/2016027>.
- . « Invisalign chez l'adolescent : une alternative au traitement multi attaches ? Illustration à l'aide d'un cas clinique », *Revue d'orthopédie dento-faciale*, 43, n° 13 (2013) : 315-21. <https://doi.org/10.1051/odf/2013308>.
- Clements, K. M., A.-M. Bollen, G. Huang, G. King, P. Hujuel, et T. Ma. « Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 2 : dental improvements ». *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 124, n° 5 (2003) : 502-8. <https://doi.org/10.1016/S0889540603005778>.
- Clinique B And Smile® Académie. « Dental monitoring : le suivi d'orthodontie sur smartphone ». Clinique B And Smile Académie. Consulté le 10 février 2019. <http://www.centre-orthodontie-geneve.com/dental-monitoring-votre-suivi-sur-smartphone/>.
- Clinique dentaire Nu Cuoi Duyen. « L'essentiel à savoir concernant les aligneurs », 2017. <https://translate.google.com/translate?hl=fr&sl=vi&u=https://nhakhoanucuiduyen.com/to-ng-hop-thong-tin-ve-nieng-rang-khong-mac-cai/&prev=search>.
- Corbin, V. « Thérapeutique orthodontique par aligneurs, une alternative pertinente aux systèmes fixes multi-attaches ? » Thèse d'exercice, Université Paris Descartes, 2010.

- Crosby, D., et J. Lee. « A patient-classification system for Invisalign cases ». *Journal of clinical orthodontics* 43, n° 8 (2009) : 502-6.
- Demange, C., et A.-S. Uldry. « L'orthodontie numérique au quotidien ». *I.D. L'information dentaire* 100, n° 12 (2018) : 70-82.
- Dental Monitoring. « Pourquoi Dental monitoring ? » Dental monitoring. Consulté le 10 février 2019. <https://dental-monitoring.com/why-dm/?lang=fr>.
- Eliasson, L. A., A. Hugoson, J. Kurol, et H. Siwe. « The effects of orthodontic treatment on periodontal tissues in patients with reduced periodontal support ». *European journal of orthodontics* 4, n° 1 (1982): 1-9.
- Felenc, S., et M. Jaisson. « Comprendre la CFAO 4D ». *I.D. L'information dentaire* 100, n° 3 (2018) : 18-23.
- Gibert, A. « Invisalign teen : l'appareil invisible spécifique pour les ados ». Dentaly.org. Consulté le 12 février 2019. <https://www.dentaly.org/invisalign-teen/>.
- Hahn, W., H. Dathe, J. Fialka-Fricke, S. Fricke-Zech, A. Zapf, D. Kubein-Meesenburg, et R. Sadat-Khonsari. « Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a maxillary central incisor during tipping ». *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 136, n° 1 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.12.015>.
- Harris, E. F. « Root resorption during orthodontic therapy ». *Seminars in orthodontics* 6, n° 3 (2014) : 183-94. <https://doi.org/10.1053/sodo.2000.8084>.
- Joffe, L. « Invisalign : early experiences ». *Journal of orthodontics* 30, n° 4 (2003) : 348-52. <https://doi.org/10.1093/ortho/30.4.348>.
- Kwon, J.-S., Y.-K. Lee, B.-S. Lim, et Y.-K. Lim. « Force delivery properties of thermoplastic orthodontic materials ». *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 133, n° 2 (2008). <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.03.034>.
- Lindauer, S. J., et R. C. Shoff. « Comparison of Essix and Hawley Retainers ». *Journal of Clinical Orthodontics* 32, n° 2 (février 1998) : 95-97.
- Miethke, R.-R., et S. Vogt. « A comparison of the periodontal health of patients during treatment with the Invisalign system and with fixed orthodontic appliances ». *Journal of orofacial orthopedics* 66, n° 3 (2005). <https://doi.org/10.1007/s00056-005-0436-1>.
- Miller, K. B., S. P. McGorray, R. Womack, J. C. Quintero, M. Perelmuter, J. Gibson, T. A. Dolan, et T. T. Wheeler. « A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment ». *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 131, n° 3 (2007) : 302. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.05.031>.
- Naranjo, A. A., M. L. Triviño, A. Jaramillo, M. Betancourth, et J. E. Botero. « Changes in the subgingival microbiota and periodontal parameters before and 3 months after bracket placement ». *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 130, n° 3 (2006) : 275-301. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.10.022>.
- Nedwed, V., et R.-R. Miethke. « Motivation, acceptance and problems of Invisalign patients ». *Journal of orofacial orthopedics* 66, n° 2 (2005) : 162-73. <https://doi.org/10.1007/s00056-005-0429-0>.
- Notteau, Y. « Tout savoir sur les technologies d'impression 3D ». Additiverse, 2017. <http://www.additiverse.com/tout-savoir-sur-les-technologies-dimpression-3d/>.
- Proffit, W. R., H. W. Fields Jr., B. E. Larson, et D. M. Sarver. *Contemporary orthodontics*. 6th ed. Philadelphia: Elsevier, 2019.
- Richter, S. I., et B. A. Jung. « Possibilités et limites du traitement orthodontique par aligneurs ». *Quintessence International* 11, n° 2 (2017) : 119-26.
- Schupp, W., J. Haubrich, et J. Mourlaas. *Les aligneurs en orthodontie : diagnostic, biomécanique, planification et traitements*. Charenton-Le-Pont: Quintessence international, 2017.
- Sergl, H. G., U. Klages, et A. Zentner. « Pain and discomfort during orthodontic treatment : causative factors and effects on compliance ». *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 114, n° 6 (1998) : 684-91.

- Sergl, H. G., et A. Zentner. « A comparative assessment of acceptance of different types of functional appliances ». *European journal of orthodontics* 20, n° 5 (1998) : 517-24. <https://doi.org/10.1093/ejo/20.5.517>.
- Setbon, O. « Conférence « l'orthodontie par aligneurs aujourd'hui » ». abcdent, 2018. <https://www.abcdent.fr/evenements/l-orthodontie-par-aligneurs-aujourd-hui-2014>.
- Stewart, F. N., W. J. S. Kerr, et P. J. S. Taylor. « Appliance wear : the patient's point of view ». *The european journal of orthodontics* 19, n° 4 (1997) : 377-82. <https://doi.org/10.1093/ejo/19.4.377>.
- Tai, S. *Orthodontie invisible : guide clinique des traitements par aligneurs*. Berlin : Quintessence Publishing, 2018.
- Tarot, P. « Les gouttières transparentes ou aligneurs Invisalign ® », 2015. <http://www.aveniortho.fr/appareils-orthodontiques/gouttieres-ou-aligneurs-transparents-Invisalign.html>.
- Tuncay, O. C. *The Invisalign system*. London : Quintessence Publishing, 2006.

Table des figures

Figure 1 : un aligneur.....	5
Figure 2 : Diagnostic orthodontique.....	12
Figure 3 : Encoche dans l'aligneur pour le placement d'un élastique. Un espacement peut être réalisé pour la pose d'un bouton collé	18
Figure 4 : L'invisibilité de l'aligneur répond à une demande croissante des patients	22
Figure 5 a et b : Une mauvaise insertion sur le taquet produit une interférence indésirable entre l'aligneur et le taquet qui peut entraîner un mouvement indésirable de la dent	25
Figure 6 a et b : Marquer les taquets avec un crayon permet au clinicien de voir si l'aligneur s'insère correctement.....	25
Figure 7 a et b : a) Il peut y avoir un espace entre les dents et la gouttière lors de l'insertion initiale	25
b) : Mâcher sur un accessoire aidera à insérer l'aligneur	25
Figure 8 : Aligneurs à gauche ; système multi-attache à droite.....	26
Figures 9 a à j : Bilan photographique et radiographique complet (composite)	37
Figure 10 : Visualisation des étapes temps par temps sur un ClinCheck	40
Figure 11 : Temps par temps pour la distalisation séquentielle des molaires maxillaires.....	40
Figure 12 : Réduction interproximale (stripping)	41
Figures 13 a et b : Lames de papier de verre diamanté, scies de stripping interproximales, disques rotatifs et fraises diamantées à grande vitesse pour les réductions interproximales	42
Figure 14 : Tractions intermaxillaires de classe II, aligneur avec encoche et bouton collé	43
Figure 15 : Aligneurs sectionnés avec des boutons collés pour le port d'élastiques verticaux pour fermer une béance postérieure.	43
Figure 16 : Protocole de collage des attachements	45
a) réception du template.....	45
b) remplissage du template avec du composite	45
c) vérification du remplissage du template avec du composite	45
d) template positionné en bouche.....	45
e) template plaqué contre la dent	45
f) photopolymérisation du composite à travers le template correctement positionné en bouche	45
g) retrait du template et vérification du collage de l'attachement.....	45
Figure 17 : Exemples d'utilisations de différents types de taquets (conventionnels ou optimisés).....	46

Figure 18 : Contrôle de l'orientation radiculaire, ici on souhaite effectuer une version mésio-distale de la canine	49
Figure 19 : Plaques thermoformables utilisées au cabinet et thermoformeuse Biostar®	51
Figure 20 : Séquence de rendez-vous types lors d'un traitement par aligneurs	56

Table des tableaux

Tableau 1 : Liste alphabétique de systèmes d'aligneurs actuellement commercialisés.....	6
Tableau 2 : Faisabilité moyenne des traitements par aligneurs Invisalign® sans l'aide d'auxiliaires par un orthodontiste	19
Tableau 3 : Analyse comparative multi-attaches versus aligneurs	27

Vu, le directeur de thèse



Docteur Agnès KAMOUN-GOLDRAT

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

Professeur Louis MAMAN

Vu, le Président de l'Université Paris Descartes

Professeur Frédéric DARDEL

Pour le Président et par délégation,

Le Doyen Louis MAMAN

Les aligneurs orthodontiques : nouvel outil thérapeutique, utilisation au cabinet et perspectives

Résumé :

Les patients faisant appel à l'orthodontie recherchent un traitement rapide, avec un appareil esthétique. Ceci est particulièrement vrai pour les adultes dont la demande en traitement orthodontique ne cesse d'augmenter, et qui refusent la visibilité d'un traitement multi-attaches.

Des alternatives thérapeutiques comme les brackets céramiques ou l'orthodontie linguale ont été développées, et plus récemment, est apparue une alternative thérapeutique avec l'utilisation des gouttières thermoformées ou aligneurs. Le déplacement dentaire ne se fait plus par brackets et arcs, mais par le changement successif de gouttières transparentes thermoformées ou aligneurs associés à des attachements. Les aligneurs les plus utilisés actuellement dans le monde sont ceux développés par Align Technology® (Santa Clara, Californie) sous le nom d'Invisalign®. La ligne conductrice du système Invisalign® est de pouvoir effectuer une planification du traitement envisagé à l'avance. Un logiciel appelé ClinCheck® permet de visualiser les étapes du traitement jusqu'au résultat final par une modélisation en 3D des mouvements dentaires. Suite à cela, afin de pouvoir réaliser les objectifs du traitement choisi, commence la fabrication d'une série d'aligneurs que devra porter le patient. Maîtriser ces outils et leur biomécanique est indispensable au succès de nos traitements des malocclusions et des défauts d'alignement dentaire car ils proposent une alternative thérapeutique pertinente pour le praticien. L'efficacité des aligneurs repose essentiellement sur la compliance du patient mais également sur la capacité du praticien à poser la bonne indication. Les perspectives sont nombreuses, l'une d'entre elles étant la démocratisation de cette technique au sein même du cabinet.

Discipline :

Orthopédie dento-faciale

Mots clés français (fMeSH et Rameau) :

Conception assistée par ordinateur -- Dissertations universitaires ; Appareils orthodontiques amovibles -- Dissertations universitaires ; CFAO, Systèmes de -- Thèses et écrits académiques ; Biomécanique -- Thèses et écrits académiques

English keywords (MeSH) :

Computer-Aided Design -- Academic Dissertations ; Orthodontic Appliances, Removable -- Academic Dissertations

Université Paris Descartes
Faculté de Chirurgie dentaire
1, rue Maurice Arnoux
92120 Montrouge