

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE

LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMRI,

FACULTE DE MEDECINE

TIZI-OUZOU

DEPARTEMENT DE MEDECINE DENTAIRE



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة مولود معمري

كلية الطب

تيزي وزو

قسم طب الاسنان

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

En vue de l'obtention du diplôme de docteur en médecine dentaire.

Thème :

Aligneurs: évolution des concepts

Réalisé par :

KADOUCHE Meriem

DJAFFAR Mounira

SALEMKOUR Ferhat

CHERIFI Yahia

MERZOUK Celine

ZERABIB Selma

MESSAOUDI Ahmed

Encadré par :

Pr KACI Nadir

Composition du jury :

Dr MISSARA Boudjama

Dr HERBANE Ghenima

Pr KACI Nadir

2022 - 2023

Remerciements

A notre promoteur M. le Pr KACI.N

Professeur en Orthopédie dento-faciale, CHU Tizi Ouzou,

Nous tenons à vous exprimer notre profonde gratitude pour avoir accepté d'être notre promoteur et d'encadrer notre mémoire. Nous sommes reconnaissants pour votre savoir, votre patience et votre capacité à nous motiver tout au long de ce processus. Votre soutien a été essentiel pour nous guider dans la rédaction de ce travail. Nous espérons sincèrement avoir répondu à vos attentes vis-à-vis de ce projet.

A M. le Docteur MISSARA.B

Maitre-assistant en Orthopédie dento-faciale, CHU Tizi Ouzou,

Nous tenons à vous exprimer toute notre reconnaissance d'avoir accepté de présider le jury de notre mémoire. Votre engagement et votre expertise dans l'évaluation de notre travail ont été d'une valeur inestimable.

A Mme. Le Docteur HERBANE Ghenima

Maitre assistante en pathologie et chirurgie buccale, CHU Tizi Ouzou ,

Nous sommes honorés par votre présence en tant que membre du jury. Merci pour votre disponibilité, votre énergie et votre temps consacrés à évaluer et enrichir notre travail.

On remercie également tous les enseignants et praticiens hospitaliers qui nous ont accompagné le long de notre cursus au sein de la faculté de médecine de Tizi Ouzou.

Cordialement.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail, fruit de plusieurs années d'étude, à mes précieux destinataires:

À ma mère, source inépuisable d'amour et de soutien, pour sa présence constante et son encouragement sans faille.

À mon père, dont la clairvoyance et les sacrifices ont été une inspiration tout au long de mon parcours académique.

À mes chers frères Hichem, Adel et Massinissa, pour leur soutien indéfectible et leur présence réconfortante.

À ma chère sœur, son mari et mon cher neveu Dani, pour leur affection et leur joie de vivre qui ont illuminé ma vie.

À tous mes amis et collègues, dont les mots d'encouragement ont été une force motrice dans les moments difficiles.

À tous ceux qui, par un simple mot, m'ont donné la force et la motivation nécessaires pour persévérer et réussir.

Que cette dédicace témoigne de ma profonde gratitude envers vous tous. Votre soutien et votre présence ont été des facteurs déterminants dans mon parcours, et je vous en suis éternellement reconnaissant.

MESSAOUDI Ahmed

Dédicaces

Je dèdie ce travail...

À mon cher père, tu as toujours été un exemple de force, d'un père aimant, tes valeurs et principes sont mes repères, grâce à toi, j'ai grandi en toute fierté. je veux te dire merci du plus profond de mon cœur, pour tout ce que tu es et tout ce que tu fais, je t'aime plus que les mots ne pourront jamais exprimer.

À ma merveilleuse mère, ton amour inconditionnel m'a enveloppé, tes encouragements ont fait grandir mes ailes, ta sagesse m'a guidé sur le chemin de la vie, et tes sacrifices ont façonné mon être. je suis fière de partager cette réussite avec toi Maman.

À mon frère Samir, tu es la personne à qui je suis le plus reconnaissante dans ma vie, tu as été bien plus qu'un simple frère pour moi, tu as été mon allié, mon confident, mon pilier et mon inspiration. À toi, cher frère qui a donné tant sans rien demander, je te remercie du plus profond de mon être, tes sacrifices ont façonné nos vies avec amour.

À ma jumelle Nadjet, tu es une personne exceptionnelle, Je suis reconnaissante de t'avoir à mes côtés pendant ces années d'études, et je suis impatiente de voir ce que l'avenir nous réserve alors que nous poursuivons nos chemins respectifs. Ta présence a été une source inépuisable d'inspiration et de soutien.

À mes chères sœurs, Malika, Sabrina et kenza merci pour vos encouragements permanents, et votre soutien moral.

À mes chers frères, Ali, Malek et Naim merci pour votre appui et votre amour indéfectible.

À mes amies de longue date, Souhila, Sarah et Wafa Je suis reconnaissante d'avoir des amis aussi merveilleux que vous.

À mon groupe de mémoire, Meriem, Yahia, Selma, Céline, Ferhat et Ahmed. Je suis reconnaissante pour cette belle aventure que nous avons partagée.

Au docteur Guerfi, à mon mentor et ma source de motivation, vous êtes la personne qui m'a le plus soutenue, vous avez cru en moi, même lorsque j'ai douté de moi-même, c'est grâce à vous que j'ai aimé ce domaine docteur. Je suis profondément reconnaissante d'avoir eu la chance de travailler à vos côtés et d'apprendre de votre expérience. Cette réussite est également

la vôtre, car vous avez joué un rôle fondamental dans son accomplissement. Merci pour votre inspiration et votre mentorat indéfectibles.

Au Dr.BENHADJ et toute l'équipe joy's dental clinic qui m'ont ouvert les portes de leur cabinet lors de mon stage d'internat, merci à vous.

À ma chère chourouk, à la plus forte et la plus courageuse femme que j'ai connu, tu étais et tu es toujours ma source d'inspiration, même en cette dure période de ta vie, merci pour tout, j'espère te revoir bientôt guérie et aussi forte que je t'ai connu guerrière. À tes merveilleuses filles, Sofia, Nourhane et Maya je vous aime énormément.

Enfin, à toutes les personnes qui ont cru en moi, je vous adresse ma plus profonde gratitude.

DJAFFAR Mounira

Dédicaces

Louange à ALLAH Le tout Puissant, le Miséricordieux, le Clément, pour m'avoir accordé la force et la volonté de parcourir ce chemin.

Je dédie ce travail :

A mes parents, les mots ne suffiront pas pour vous remercier d'avoir été un père et une mère exemplaires et de m'avoir offert l'éducation, l'amour, le soutien et la motivation nécessaires afin de réaliser mon rêve d'enfance. Ma réussite est la vôtre.

A mes frères et sœurs, Liza, Ghilas, Rayane et Dana qui m'ont apporté leurs amour et soutien inconditionnel tout au long de ma vie et de mon cursus universitaire.

A ma grande famille, mes proches, mes amis et tous les habitants de mon village « Selloum », merci pour votre présence bienveillante et vos encouragements constants.

A mes amis de la promotion, merci pour les moments de joie, d'apprentissage et de soutien mutuel qu'on a partagé au cours de ces 6 dernières années. Ce n'est pas la fin, le meilleur reste à venir.

Au Dr Moulla Ouazna, qui m'a appris, soutenu et accompagné lors de mes premiers pas dans le monde de la médecine dentaire.

A tous mes enseignants de l'école primaire jusqu'à la fac, merci d'avoir partagé votre savoir et de m'avoir aidé à devenir la personne que je suis aujourd'hui.

A tous ceux qui ont contribué à ma réussite de près ou de loin je leur dis simplement Du fond du cœur : Merci.

CHERIFI Yahia.

Dédicaces

J'ai le grand plaisir de dédier humblement ce travail

A mes très chers parents. Aucune dédicace, aucun mot ne saurait exprimer pleinement ma gratitude, mon amour et mon profond respect envers vous. Votre affection, vos sacrifices et votre soutien tant moral que matériel ont été les piliers qui m'ont permis d'atteindre mes objectifs et de réussir dans mes études.

À ma mère, qui incarne l'espoir dans les moments difficiles et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.

À mon père, pour ses encouragements, son soutien, son amour et ses sacrifices inlassables afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

À ma chère sœur Khadidja, ton amour, ta tendresse et ta patience ont toujours été d'un soutien inestimable. Aucun mot ne peut suffire à exprimer ma gratitude et mon amour envers toi. Que Dieu m'aide à ne jamais te décevoir.

À mes adorables petits frères, Rayane et Radouane, qui sont toujours présents dans les moments difficiles et m'apportent leur aide et leurs encouragements sans relâche. Que Dieu vous bénisse pour moi.

À mes oncles, mes tantes et mes deux grands-mères, ainsi qu'à tous mes cousins, voisins et amis qui m'ont soutenu tout au long de ces longues années d'études.

Au Dr BEROUELL, Dr Bourhil et Dr Chita, pour m'avoir accueilli dans leur cabinet et offert un environnement propice à l'apprentissage, je vous suis reconnaissant.

Sans oublier mon groupe Yahia, Meriem, Mounira, Céline, Ahmed et Ferhat, qui ont contribué à la réalisation de ce modeste travail. Je vous exprime ma gratitude.

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à ma réussite, je vous adresse mes sincères remerciements. Votre soutien a été précieux et je vous en suis profondément reconnaissant.

ZERABIB Selma

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A ma chère mère, qui m'a soutenu pendant toute ma vie ; Je n'oublierai jamais ta présence à mes côtés et tes encouragements, Si je suis là aujourd'hui c'est grâce à toi.

A mon cher père, tu as toujours été pour moi un exemple de père honnête et respectueux; tu n'as jamais cessé de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse réaliser mes objectifs.

A mes chères sœurs Souhila , Malika, Karima ainsi qu'à leurs maris, sans oublier mes chers neveux Ouassim, Eyad et mes chères princesses Elina et Thanina ; qui m'avaient toujours soutenu et encouragé durant les années d'études.

A mon groupe ; Ahmed, Meriem, Céline, Yahia, Salma et Mounira qui ont tout autant participé à la réalisation de ce modeste travail ainsi qu'aux bons moments qu'on a partagés.

A ma promotion... A mes amis... A ma famille... A tous ceux qui m'ont soutenu.

SALEMKOUR Ferhat.

Dédicaces

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma gratitude envers le Tout-Puissant de m'avoir accordé la force et la capacité d'entreprendre ces six longues années. Sans sa bénédiction cette réalisation n'aurait pas été possible.

Je dédie ce travail...

À mes plus grands soutiens et sources d'inspiration, MES PARENTS je vous dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance infinies. Ce travail et cette réussite sont l'aboutissement de vos sacrifices.

À mon cher père qui m'a inculqué les valeurs du travail acharné, et de la persévérance, tu m'as toujours inspiré à viser plus haut et à poursuivre mes rêves. Je suis infiniment reconnaissante pour tes conseils avisés, ton soutien, ta confiance en moi, et ton amour.

À la prunelle de mes yeux, MAMAN qui a toujours été mon port d'attachement, et ma boussole, je ne saurais la remercier pour tout ce qu'elle a fait pour moi. Tu as été la lumière qui a éclairé mon chemin.

À KOUSSAILA, et BILEL, mes petits frères que j'aime beaucoup, qui m'apportent énormément de bonheur, et qui m'encouragent constamment malgré leur jeune âge.

À mes grandes mères (faroudja, zahwa, fadhma), qui m'ont apporté leur aides et encouragement.

À ma chère cousine SABRINA, qui a été présente tout au long de mon parcours et m'a apporté un soutien inestimable. Je la remercie pour les moments de détente que nous avons partagés et pour tout ce qu'elle a fait pour moi.

À mon amie, ma confidente SOUHILA, qui n'a jamais cessé de croire en moi et de me soutenir au quotidien. Merci d'être toujours là pour moi!

Au Docteur HABET, Docteur DAIF, et leur assistante pour m'avoir accueilli dans leur cabinet et m'avoir appris tant de choses au début de ma carrière professionnelle. Je leur suis reconnaissante pour cette opportunité et pour toutes les connaissances acquises.

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

MERZOUK Celine

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mon cher papa, tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'emmener vers le haut, merci pour tout ce que tu as fait pour moi si je suis arrivée aujourd'hui là où je suis c'est grâce à toi et tes sacrifices que ce travail traduit ma gratitude et mon amour .

A ma maman chérie, une simple dédicace ne suffira jamais pour te remercier ; tu es ma source d'inspiration, je te serais reconnaissante toute ma vie pour ton encouragements tout au long de mon cursus.

A ma sœur Lydia et mon petit frère Ilyace, merci pour votre aide et vos encouragements, vous êtes les meilleurs.

A mon grand frère Sidali, merci pour ton soutien et tout ce que tu m'as fait ainsi qu'a ta femme.

A ma grande sœur Abla, tu étais toujours mon exemple dans la vie malgré la distance tu n'as pas cessé de m'encourager merci infiniment ainsi ton mari.

A mes deux neveux Racim et Aylane, vous êtes ma source de joie et de bonheur.

A mes copines ; Sarah, Maya, Sihem, Amira, Lydia.

A mon binôme Abdou, tu étais un très bon ami merci d'avoir supporté mes caprices tout au long cette année.

A mon groupe de mémoire, Mounira, Yahia, Ferhat, Céline, Salma, Ahmed qui ont participés à la réussite de ce travail merci à vous.

KADOUCHE Meriem

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I : Historique des aligneurs	
1 Introduction.....	3
2 L'appareil de massage gingivale "Flex-O-Tite" de Remensnyder (1925)	3
3 Le positionneur de Kesling (1945)	3
4 La gouttière invisible de Nahoum (1964).....	4
5 L'invisible retainer de Ponitz (1971).....	5
6 L'invisible Retainer de Namara (1985)	6
7 Sheridan et le système Essix (1990).....	7
7.1 Modification de l'aligneur	8
7.2 Modification de la surface de la dent	8
8 Les aligneurs transparents contemporains.....	8
8.1 Le système Invisalign®	9
8.1.1 Première génération.....	10
8.1.2 Deuxième génération.....	10
8.1.3 Troisième génération	10
8.1.4 Quatrième génération	10
8.1.5 Cinquième génération.....	10
8.1.6 Sixième génération.....	10
8.2 Clear Aligner®	11
8.3 Le système Orthocaps®	11
Chapitre II : La biomécanique	
1 Rappel sur la biomécanique orthodontique	14
1.1 Les phénomènes biologiques	14
1.1.1 La réaction tissulaire au cours de déplacement dentaire	14
1.2 Les données numériques.....	15

1.2.1	La relation entre la force et le mouvement	15
1.2.2	Les seuils	15
1.2.3	Les valeurs optimales	15
2	La biomécanique appliquée à l'orthodontie	16
2.1	Définition.....	16
2.2	Les principes appliqués en orthodontie.....	16
2.2.1	Les trois lois de NEWTON.....	16
2.2.2	La force.....	16
2.2.3	Le couple de force appliqué sur une dent	17
2.2.4	Le centre de résistance (CR).....	18
2.2.5	Le centre de rotation (Cr)	18
2.2.6	Le moment d'une force.....	19
2.2.7	L'ancrage	19
2.3	Les différents mouvements dentaires.....	20
2.3.1	La version (tipping)	20
2.3.2	La translation (bodily mouvement)	20
2.3.3	Le torque.....	21
2.3.4	Le mouvement d'égression et d'ingression	21
2.3.5	La rotation.....	22
3	La biomécanique des aligneurs	22
3.1	Les différentes approches biomécaniques	22
3.1.1	L'approche dite des déplacements dirigés	22
3.1.2	L'approche dite des forces dirigées.....	23
4	Les auxiliaires des aligneurs.....	23
4.1	Les auxiliaires propres à la technique	23
4.1.1	Les taquets, moundings ou attachements	23
4.1.1.1	Les attachements conventionnels	24
4.1.1.2	Les attachements optimisés.....	25
4.1.2	Les points de pression	27
4.1.3	Les rampes d'occlusion	28
4.1.4	Les ailes de précision « precision wings »	29
4.1.5	Les power ridges	29
4.1.6	Les power arms	29

4.1.7	Les pontiques	29
4.2	Les auxiliaires identiques à ceux de la technique multi -bagues	30
4.2.1	Les élastiques	30
4.2.2	Les minivis.....	30
5	Les critères influençant les forces délivrées par un aligneur	31
5.1	Les propriétés des matériaux	31
5.1.1	L'épaisseur du matériau.....	31
5.1.2	Les types des polymères	32
5.1.3	Les propriétés physiques.....	32
5.1.4	Les propriétés mécaniques.....	32
5.2	Mode de thermoformage	32
5.3	Durée d'activation	33
5.4	La complexité de la morphologie dentaire	34

Chapitre III : Les limites des aligneurs

1	Indications et contre-indications des aligneurs	36
1.1	Indications.....	36
1.2	Contre-indications	37
1.2.1	Dues aux patients	37
1.2.2	Dues à l'anatomie /morphologie dentaire.....	37
1.2.3	Dues aux corrections squelettiques	38
1.2.4	Dues à l'expérience du praticien	38
2	Avantages et inconvénients	38
2.1	Les avantages	38
2.1.1	L'esthétique	38
2.1.2	L'amovibilité.....	38
2.1.3	Le confort.....	39
2.1.4	La communication facile avec le patient	39
2.2	Inconvénients	39
2.2.1	Sur le plan esthétique.....	39
2.2.2	La Coopération du patient	39
2.2.3	Perte de l'aligneur	40
2.2.4	Les troubles de l'élocution temporaires	40

	2.2.5 Le Cout	40
3	Limites des aligneurs.....	40

Chapitre IV : Prédicibilité des mouvements

1	Prédicibilité des mouvements obtenus avec les aligneurs	43
1.1	Mouvement de version	43
1.2	Mouvement de translation	43
1.3	La dérotation	43
1.4	Mouvement d’ingression	44
1.5	Mouvement d’égession	44
1.6	Mouvement de torque.....	45
2	Surmonter les limitations des aligneurs ; une approche hybride	46
2.1	Définition.....	47
2.2	Application de la technique	50
2.2.1	Correction des rotations.....	50
2.2.2	Egession ingression et correction verticale	53
2.2.3	Correction transversale.....	54
2.2.4	Correction sagittale	55

Chapitre V : Analyse comparative entre aligneurs et multi-attaches

1	La transmission de l’information entre l’appareil et la dent.....	58
2	Le Nivellement et la friction.....	58
3	L’efficacité des mouvements	58
4	La durée du traitement	58
5	L’hygiène	59
6	White spots	59
7	Les résorptions radiculaires.....	60
8	La santé parodontale.....	61
9	La perception de la douleur	61
10	La contention post-chirurgicale et la récive	62

Chapitre VI : Planification d’un traitement par aligneurs

1	Introduction.....	64
2	Démarche diagnostic	64
2.1	Anamnèse et interrogatoire	64
2.2	Examen clinique morphologique	65
2.2.1	Examen exo-buccal	65
2.2.2	Examen endo-buccal	65
2.3	Examen occluso-fonctionnel	66
2.4	Les examens complémentaires	67
2.4.1	La photographie	67
2.4.1.1	Les photographies exo-buccales.....	67
2.4.1.2	Les photographies intra-buccales	68
2.4.2	Les modèles d'études dentaires (plâtre ou numérique)	69
2.4.2.1	Les empreintes.....	69
2.4.2.2	La prise d'occlusion.....	70
2.4.2.3	Les critères d'une empreinte non réussie	70
2.4.2.4	L'empreinte optique et la visualisation des modèles (80).....	71
2.4.2.4.1	Empreinte optique directe	72
2.4.2.4.2	Numérisation d'un moulage physique ou d'une empreinte	76
2.4.3	Les examens radiologiques.....	77
2.5	Synthèse diagnostique et objectifs du traitement.....	79
3	Plan de traitement	79
3.1	Prise de contact avec la société de fabrication.....	79
3.2	Le set up virtuel.....	81
3.3	La réception du set up et validation du ClinCheck® par le praticien	82
3.4	Fabrication des gouttières	83
3.5	Réception et livraison des aligneurs.....	83
3.6	Suivis et control.....	84
3.7	Contention post-traitement	84

Chapitre VII : Les innovations récentes des aligneurs

1	Les aligneurs et traitements des adolescents	87
1.1	Correction des classes II et III squelettiques	87
1.2	L'invisalign Teen système	88

2	Made in home aligners	89
3	Les accélérateurs de mouvements.....	93
3.1	Acceledent	93
3.2	Propel.....	94
4	Les pratiques trempées dans l'industrie des aligneurs	95
4.1	Pourquoi ces offres de gouttières à bas prix représentent-elles un danger ?....	95
4.2	Quel est le risque de réaligner des dents sans un plan de traitement et sans un suivi adapté ?	96
	Conclusion générale.....	97
	Bibliographie	99
	Résumé.....	108

Liste des abréviations

- **AFI** : Projection de Frange de Lumière.
- **ATM** : Articulation Temporo-Mandibulaire.
- **CAO (CAD)** : Conception Assisté par Ordinateur (Computer Aided Design).
- **CBCT** : Tomographie Volumique à Faisceau Conique.
- **CR** : Centre de Résistance.
- **Cr** : Centre de Rotation.
- **DDM** : Dysharmonie Dento-Maxillaire.
- **EVA** : les Acétates de Vinyle Ethyle.
- **FAD (CAM)** : Fabrication Assisté par Ordinateur (Computer Aided manufacturing).
- **FDA**: Food and Drug Administration.
- **IHAs** : In Houce Aligners.
- **IOS** : Scanners Intra Oraux.
- **M(f)** : Moment de la Force.
- **MA** : Invisalign Mandibular Advancement Device.
- **MOPs**: Micro-Ostéoperforations.
- **ODF** : Orthopédie Dento-Facial.
- **PC** : les Polycarbonates.
- **PEHD** : les Polyéthylènes Haute Densité.
- **PETP** : les Poly Téréphtalates d’Ethylène Amorphes.
- **PMMA** : les Poly Méthacrylates de Méthyle.
- **PS** : les Polymères de Styrène.
- **PU** : les Polyuréthanes.
- **PVC** : les Chlorures de Polyvinyle.
- **PVS** : PolyVinylSiloxanes.
- **RIP** : Réduction Inter Proximale.
- **SLA** : Stéréolithographie Apparatus.
- **®** : Marque déposée.
- **3D** : Troisième Dimension.

Liste des figures

Figure 1: Harold Kesling.	3
Figure 2: Set-Up et Positionneur	4
Figure 3: Modèles avant et après le positionneur.....	4
Figure 4: Boîte avide avec grille et tube.....	6
Figure 5: Fabrication de l'invisible retainer a l'aide du système BIOSTAR.....	7
Figure 6: Dr John J.Sheridan 1932 - 2018.....	7
Figure 7: Pince thermique d'Hiliard.	8
Figure 8: a) Divot. b) Mounding	8
Figure 9: Gouttière invisalign	9
Figure 10: Gouttières Clear aligner	11
Figure 11: Le déplacement de la dent dans son alvéole.	14
Figure 12: L'effet de la force orthodontique sur la dent.	17
Figure 13: L'utilisation d'un couple de force lors d'un déplacement orthodontique.....	18
Figure 14: La situation du CR d'une dent en fonction de la hauteur de l'os alvéolaire	18
Figure 15: Le moment produit par une force appliquée a une distance du CR.....	19
Figure 16: L'utilisation d'un mini implant comme ancrage	20
Figure 17: Le mouvement de version.	20
Figure 18: Le mouvement de translation.	21
Figure 19: Le mouvement de torque	21
Figure 20: L'intrusion et l'extrusion d'une dent.....	22
Figure 21: Le mouvement de rotation.	22
Figure 22: Attachement ellipsoïde.....	24
Figure 23: Attachement vertical et horizontal.....	25
Figure 24: Attachement rectangulaire horizontale biseauté.....	25
Figure 25: Attachements verticaux biseautés.....	25
Figure 26: Les taquets optimisés de control du mouvement radiculaire	26
Figure 27: Taquet optimisé de rotation.....	27
Figure 28: Taquets optimisé d'égression.....	27
Figure 29: Taquet multi-plant optimisé	27
Figure 30: Les points de pression.....	28
Figure 31: Les rampes d'occlusions	28
Figure 32: Les rampes d'occlusions	28
Figure 33: Les ailes de précision.....	29
Figure 34: Les power ridges.	29
Figure 35: Power arms préfabriqués et manuellement fabriqués.....	29
Figure 36: Pontique à la place de l'incisive latérale supérieure gauche.....	30
Figure 37: Precision cuts.....	30
Figure 38: L'élastique de classe2	30
Figure 39: L'utilisation d'un minivis avec aligneur	31
Figure 40: Le STA-VAC	33
Figure 41: Le BIOSTAR.	33
Figure 42: La résultante de la force appliquée sur la face vestibulaire, et en linguale.....	34
Figure 43: Appareil fixe complet inférieur avec aligneur supérieur	47
Figure 44: Appareil lingual inférieur utilisé sous l'aligneur	47
Figure 45: Un appareil labial inférieur placé immédiatement après l'extraction.....	48

Figure 46: Patient portant un aligneur supérieur au même temps qu'un dispositif de repositionnement antérieur mandibulaire MARA.....	49
Figure 47: Utilisation des minivis avec un aligneur pour l'intrusion.....	49
Figure 48: La faible adhérence entre la gouttière et la dent.....	50
Figure 49: Illustration de chewies.	51
Figure 50: La correction d'une rotation.	52
Figure 51: Boutons collés utilisés avec une chaîne élastique segmentaire pour la dérotation de la deuxième prémolaire inférieure gauche.....	53
Figure 52: Les minivis placés en vestibulaire et linguale, vestibulaire et palatin.	53
Figure 53: Les élastiques entraînent une intrusion des dents postérieures, des dents antérieures.	54
Figure 54: La technique BOOTSTRAP.....	54
Figure 55: Expansion transversale (a et b).....	55
Figure 56: Appareil d'expansion palatine rapide et pandulum.....	56
Figure 57: Appareils de distalisation du secteur postérieur.....	56
Figure 58: Appareils de l'expansion palatine rapide avec des bras pour masque de delaire.....	56
Figure 59: White Spots.	60
Figure 60: Résorption radiculaire après le traitement multi-attaches.....	61
Figure 61: L'algorithme de diagnostic.	64
Figure 62: La caméra Soprocare®.	66
Figure 63: Vue de face, de profil, et de sourire.....	68
Figure 64: La vue latérale, la vue frontale.....	69
Figure 65: La vue occlusale.....	69
Figure 66: Empreinte maxillaire, empreinte mandibulaire, enregistrement d'occlusion.	70
Figure 67: Empreinte avec des défauts, empreinte ne présente pas des défauts.....	71
Figure 68: Visualisation simultanée des diverses incidences (source3Shape).....	72
Figure 69: Triangulation laser.....	73
Figure 70: La projection de frange de lumière.....	74
Figure 71: L'imagerie parallèle focale.....	74
Figure 72: La vidéo stéréophotogrammétrique.....	75
Figure 73: Le flux numérique.....	76
Figure 74: Scanner R700.....	76
Figure 75: Une radiographie céphalométrique latérale(a), image sagittale de la CBCT(b), (c).	78
Figure 76: La céphalométrie latérale(A), une image sagittale de la CBCT(B).....	79
Figure 77: Invisalign charts.....	81
Figure 78: Visualisation des étapes temps par temps sur un ClinCheck®.	82
Figure 79: Automated aligner-forming system.....	83
Figure 80: Automated aligner cutter.....	83
Figure 81: Precision wings.....	87
Figure 82: Appareil de Frankel.	88
Figure 83: Made in home aligners imprimé en 3D.	90
Figure 84: flux de travail pour la fabrication in house aligneurs.	93
Figure 85: Dispositif AcceleDent.	94
Figure 86: Dispositifs Propel.	95

Liste des tableaux

Tableau 1: Faisabilité moyenne des traitements par aligneurs Invisalign sans l'aide d'auxiliaires.	36
Tableau 2: La prédictibilité des mouvements dentaires avec aligneurs.....	46
Tableau 3: Avantages et inconvénients de Made in home aligners.	90

Introduction générale

Introduction générale

Ces dernières années, nous assistons à une augmentation de l'accès aux traitements orthodontiques chez les adultes, suscitant un intérêt croissant pour les options esthétiques, plus confortables et favorisant une meilleure hygiène bucco-dentaire. De nouvelles approches thérapeutiques telles que les brackets céramiques, l'orthodontie linguale et les aligneurs thermoformés ont émergé, offrant des alternatives aux traitements traditionnels multi-attaches.

Parmi ces options, le traitement par aligneurs s'est imposé comme le choix privilégié, répondant aux attentes des patients. Grâce aux avancées numériques et aux améliorations des matériaux dentaires, les aligneurs sont capables d'effectuer des mouvements orthodontiques de plus en plus précis. Ce traitement repose sur l'utilisation d'une série de gouttières en polycarbonate thermoformé, chacune conçue pour réaliser des mouvements spécifiques visant à corriger les malpositions dentaires. La durée et le nombre d'aligneurs nécessaires dépendent de la gravité des problèmes à traiter.

Ce mémoire explorera les spécificités de l'orthodontie chez les adultes, retracera l'évolution des aligneurs au fil du temps et présentera leur conception. Nous aborderons également la biomécanique spécifique à ce système de traitement, ainsi que ses indications, contre-indications, avantages et inconvénients. Enfin, nous discuterons des récentes innovations dans le domaine des aligneurs, notamment l'émergence des « Made in home aligners » et leur utilisation chez les adolescents.

Chapitre I

Historique

des aligneurs

1 Introduction

L'introduction des aligneurs a marqué un tournant dans le traitement des malocclusions dentaires. Dans cette perspective, il est important de comprendre l'historique de ces dispositifs pour apprécier leur évolution et leur impact sur la pratique de l'orthodontie.

2 L'appareil de massage gingivale "Flex-O-Tite" de Remensnyder (1925) (1)

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

3 Le positionneur de Kesling (1945) (2)

Le positionneur du docteur Harold Dean Kesling a été créé pour répondre à la nécessité de trouver un appareil simple capable de guider les dents vers leur position idéale sans avoir recours à des brackets ou aux fils. Il s'agit d'un dispositif de mobilisation dentaire actif utilisé pour les ajustements fins des dents et comme dispositif de contention efficace. Ce dispositif tire parti du fait que la plupart des dents sont encore mobiles et instables pendant le traitement en cours, ce qui facilite leur déplacement sous l'influence de l'appareil.



Figure 1: Harold Kesling. (2)

Pour élaborer le positionneur, des empreintes dentaires sont prises immédiatement après le retrait des bagues. Deux modèles en plâtre dur sont créés, l'un utilisé pour élaborer un "set-up" et l'autre servant de modèle de contrôle. Les modèles de set-up sont montés sur un articulateur et l'occlusion est ouverte jusqu'à atteindre la position de repos physiologique. Le set-up final est utilisé pour fabriquer le positionneur, qui est un appareil en caoutchouc flexible monobloc conçu pour remplir complètement l'espace libre entre les arcades dentaires supérieure et inférieure, ainsi que pour couvrir les surfaces vestibulaires, palatines et linguales des dents.

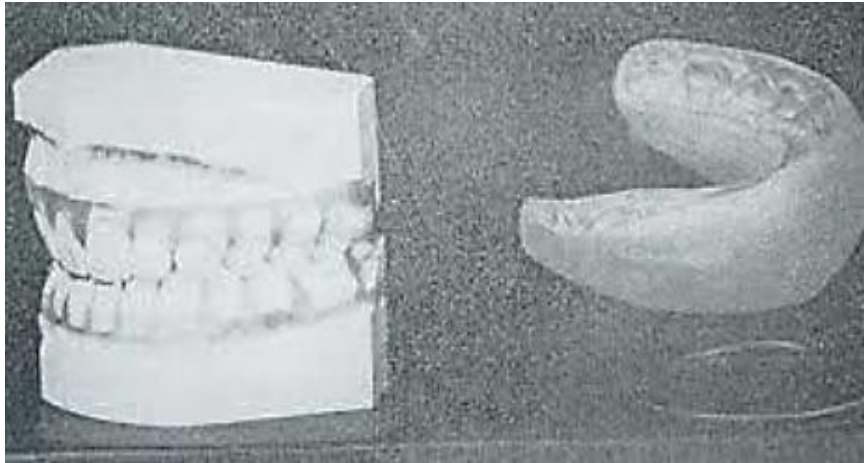


Figure 2: Set-Up et Positionneur. (2)

Bien que l'appareil ait des limites quant aux mouvements dentaires qu'il peut effectuer, Kesling a suggéré qu'il serait possible de réaliser des mouvements dentaires majeurs à l'aide d'une série de positionneurs en changeant légèrement les dents du montage au fur et à mesure de la progression du traitement. Cependant, l'utilisation de cet appareil présente également des inconvénients tels que la dépendance à la compliance du patient, le goût désagréable du matériau en caoutchouc, l'augmentation de l'overbite, l'absence d'intercuspidation correcte et un mauvais réglage de l'occlusion.

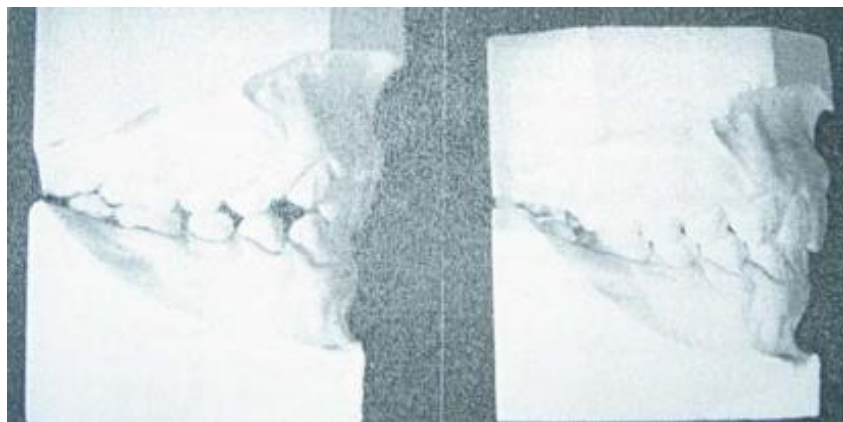


Figure 3: Modèles avant et après le positionneur. (2)

4 La gouttière invisible de Nahoum (1964) (3)

Le premier appareil thermoplastique transparent documenté, destiné à être utilisé en dentisterie a été mis au point par Henry Isaac Nahoum en 1959, fabriqué à l'aide d'une formeuse sous vide de qualité industrielle. Il était connu sous le nom d'appareil de contour dentaire “ Nahoum’s Dental Contour Appliance “, car il avait été conçu à l'origine pour maintenir ou

modifier les contours. Le procédé pouvait s'adapter à divers matériaux, notamment l'acétate, le vinyle, le styrène, le polyéthylène et le butyrate, avec des feuilles translucides, claires ou colorées. Pour sa fabrication, un moulage modifié est formé en utilisant une scie de bijoutier pour sectionner les dents et de la cire pour plaque de base est utilisée pour les maintenir dans leur nouvelle position. À partir de là, l'appareil de contour est formé sur le modèle. L'élasticité du matériau de l'appareil exercera une pression jusqu'à ce que les dents aient atteint leur position prédéterminée.

En 1964, Nahoum a publié que cet appareil pourrait être utilisé en orthodontie, à la fois comme dispositif de contention et pour effectuer des mouvements dentaires mineurs tels que des rotations légères et la fermeture d'espaces. Il s'est appuyé sur l'idée de Kesling d'utiliser une série d'appareils graduellement pour obtenir le mouvement dentaire souhaité. Ce concept a été développé en réalisant que certains mouvements dentaires étaient trop importants pour être corrigés en une seule étape. Il a procédé à des ajustements progressifs des dents sur le modèle modifié en les déplaçant graduellement dans la cire et a fabriqué un nouvel appareil formé sous vide pour chaque étape. Cette méthode était recommandée principalement pour le secteur antérieur.

Les éléments auxiliaires utilisés dans le traitement par gouttières transparentes sont également basés sur la méthodologie de Nahoum. Par exemple, lorsque les deux arcades sont traités, il y a un traitement des deux arcades, Nahoum avait suggéré l'utilisation de boutons en acrylique sur l'appareil pour fixer les élastiques inter-arcades.

En plus de sa fonction de positionneur orthodontique et d'appareil de contention, Nahoum a également proposé l'utilisation de l'appareil de contour dans différents domaines: parodontale; comme attelle pour des dents mobiles, chirurgical ; pour favoriser l'hémostase, ainsi qu'en prothèse comme « moule » pour fabriquer des couronnes ou des bridges provisoires.

5 L'invisible retainer de Ponitz (1971) (4)

Robert John Ponitz a proposé en 1971 un appareil en plastique transparent formé sous vide qu'on pourra utiliser comme un moyen de contention transitoire entre certaines étapes du traitement ou bien vers sa fin. Il est confectionné avec un matériau composé d'acétates-butyrate de cellulose, de polyuréthane, de polymère polyvinyle acétates-polyéthylènes, de polycarbonates-cycolac et de latex. La procédure de fabrication consistait à préchauffer un

matériau plastique transparent dans un four et a utiliser une unité de vide pour donner au matériau la forme de l'arcade dentaire a partir d'un moulage.

Les dents puissent être déplacées et repositionnées sur le modèle a l'aide de cire avant la formation de l'appareil de rétention ; permettant aux dents de se déplacer vers les nouvelles positions.

La gouttière de Ponitz a plusieurs avantages : facilité de la fabrication, rapidité de l'insertion, l'ajustement minimal au fauteuil dentaire et la réhabilitée avec un pistolet thermique. A cette époque-là ; ces appareils étaient utilisés comme des attèles chirurgicales ; supports pour les pansements parodontaux ; les PP temporaires ainsi comme des attelles pour les traumatismes occlusaux et le bruxisme.

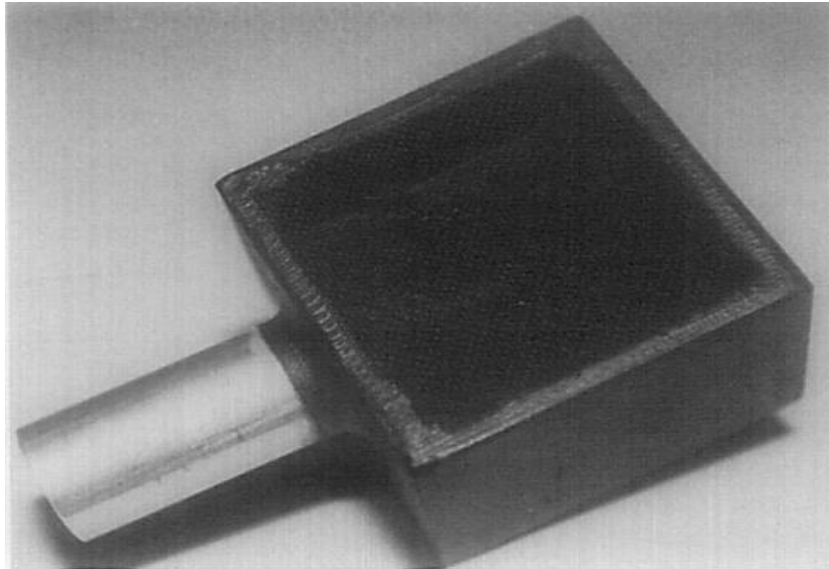


Figure 4: Boite avide avec grille et tube. (4)

6 L'invisible Retainer de Namara (1985) (5)

Mac Namara a introduit la première gouttière thermoformée par pression a visé orthodontique ce qu'on appelle le système BIOSTAR. Il s'est basé sur les repositionnements mineurs des dents en s'inspirant des travaux de Ponitz mais son approche thérapeutique était totalement différente car il préconise le déplacement d'une seule dent par quadrant.

Mac a précisé que l'efficacité de sa gouttière s'arrête si le déplacement effectuée sur le Set-up est trop important ou si plus d'une dent par quadrant est mobilisée.



Figure 5: Fabrication de l'invisible retainer a l'aide du système BIOSTAR. (5)

7 Sheridan et le système Essix (1990) (6)

En 1990, John J. Sheridan a présenté au public des gouttières modifiées qui utilisent des poinçons "divots" pour générer une force visant à déplacer une dent spécifique, ainsi que des ouvertures appelées "fenêtres" pour permettre à la dent de se déplacer.

3 ans après ; en 1993 ce dernier a présenté une gouttière thermoplastique qui sert au même temps comme un appareil de contention et comme positionneur dont il a nommé « Essix Retainer » .

Le terme Essix est un acronyme de S-Six ou Sheridan's Simple System For Stabilising the Social Six.

Le système Essix se distingue du système Nahoum par son principe fondamental qui consiste à utiliser qu'une seule gouttière pour atteindre les objectifs de traitement, contrairement à Nahoum qui utilisait plusieurs gouttières pour des mouvements successifs. Bien que l'aligneur Essix puisse être efficace pour corriger des chevauchements légers, il ne permet que des mouvements limités entre 2 et 3 mm. Pour créer de l'espace entre les arcades dentaires, John J. Sheridan préconise l'utilisation de la réduction inter-proximale (RIP) plutôt que les extractions ou l'expansion, en raison de la difficulté de redresser les axes dentaires et d'assurer l'équilibre occlusal.



Figure 6: Dr John J.Sheridan 1932 - 2018. (6)

Dans le système Essix, il existe deux principales méthodes pour générer des mouvements dentaires.

7.1 Modification de l'aligneur

La modification de l'aligneur peut être effectuée à l'aide de pinces thermiques d'Hilliard. Cette technique permet de réaliser une thermo formation des gouttières par points.



Figure 7: Pince thermique d'Hilliard.

7.2 Modification de la surface de la dent

On implique des modifications afin de créer des projections sur la surface de la dent de sorte qu'une force soit exercée lorsque l'élasticité du matériau de la gouttière exerce une pression sur celle-ci ; généralement en collant du composite.

Ces modifications sont connues sous le nom de « Moundings ».

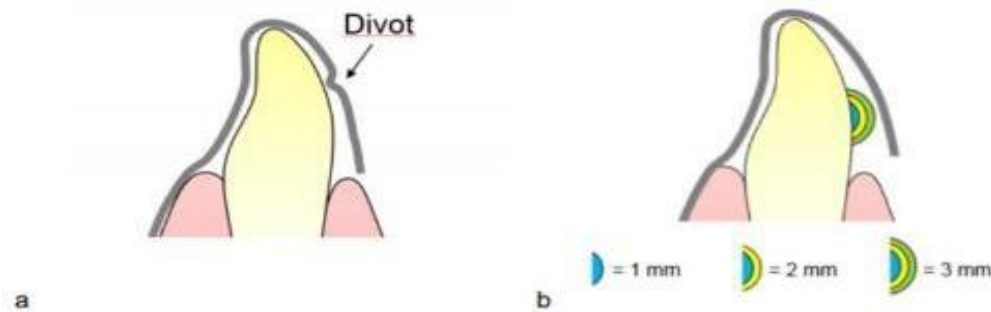


Figure 8: a) Divot. b) Mounding.

8 Les aligneurs transparents contemporains

Auparavant les processus de planification et de fabrication des aligneurs étaient effectués de manière manuelle et fastidieuse. Cependant, cette méthode présentait une limitation importante: les aligneurs ne pouvaient être utilisés que pour un petit nombre de cas et ne pouvaient donc pas être considérés comme une solution pour les traitements orthodontiques complets.

Les avancées récentes en matière de conception et de fabrication assistées par ordinateur (CAO/FAO) ainsi que les techniques de prototypage rapide ont donné lieu à une approche industrielle pour la planification du traitement et la fabrication d'aligneurs thermoplastiques transparents. Les aligneurs transparents actuels sont le fruit de la combinaison des principes établis par des chercheurs tels que Remensnyder, Kisling, Nahoum, et autres, avec la technologie moderne de CAO/FAO. Ils sont fabriqués à partir de matériaux polymères transparents et thermoplastiques, personnalisés pour les arcades dentaires uniques de chaque patient.

Nous citerons les systèmes les plus connus et utilisés :

8.1 Le système Invisalign®(7)

L'histoire d'Invisalign remonte aux années 1990, lorsque Zia Chishti, un étudiant diplômé de l'Université de Sanford, a eu l'idée d'utiliser la technologie de modélisation 3D pour créer des aligneurs personnalisés pour la correction des dents. En 1997, Chishti et son partenaire Kelsey Wirth ont fondé Align Technology, la société qui a développé le système Invisalign.

Le premier système Invisalign a été lancé en 1999, après avoir reçu l'approbation de la Food and Drug Administration (FDA) des États-Unis avec une disponibilité initiale limitée aux orthodontistes qui s'est ensuite étendu aux omnipraticiens.

En 2000, AlignTechnology a ouvert son premier centre de formation pour les praticiens Invisalign, afin de leur apprendre comment utiliser le système de manière efficace. Depuis lors, la société a continué à investir dans la recherche et le développement, en améliorant constamment les matériaux et les techniques utilisés pour fabriquer les aligneurs Invisalign.



Figure 9: Gouttière invisalign

Le dispositif Invisalign® est constitué d'une succession d'aligneurs transparents thermoplastiques qui doivent être portés durant une période de 1 à 2 semaines chacun pour au moins 22h par jour et peuvent être retirés pour manger ou se brosser. Chaque aligneur est spécifiquement conçu pour permettre un mouvement orthodontique d'environ 0,25 à 0,30 mm

par gouttière. Le nombre d'aligneurs nécessaires dépend de la gravité du problème de malocclusion dentaire et des objectifs de traitement du patient.

Il convient de souligner que l'Invisalign® a connu une évolution significative au fil du temps :

8.1.1 Première génération

Les premiers aligneurs Invisalign étaient conçus pour traiter des cas relativement simples, avec des problèmes d'alignement dentaire mineurs à modérés. Les aligneurs étaient limités en termes de mouvement dentaire et de prédictibilité.

8.1.2 Deuxième génération

En 2001, l'Invisalign a lancé la deuxième génération de son système, qui offrait des aligneurs plus précis et plus efficaces. Cette génération comprenait des fonctionnalités telles que des « boutons d'attachement » qui aidaient à exercer des forces supplémentaires sur les dents, et des élastiques qui permettaient de corriger les morsures croisées.

8.1.3 Troisième génération

La troisième génération d'Invisalign, lancée en 2005, a introduit la technologie SmartTrack, qui permettait aux aligneurs de mieux s'adapter à la dentition du patient et d'exercer des forces plus précises sur les dents. Cette génération a également permis de traiter des cas plus complexes, tels que les malocclusions sévères et les problèmes de morsure profonde.

8.1.4 Quatrième génération

En 2013, l'Invisalign a lancé la quatrième génération de son système, qui incluait la technologie SmartForce, permettant de personnaliser davantage les aligneurs pour chaque patient en fonction de ses besoins spécifiques.

8.1.5 Cinquième génération

La cinquième génération d'Invisalign, lancée en 2016, a introduit la technologie SmartTrack 3D, qui permettait de concevoir des aligneurs encore plus précis et plus confortables pour les patients. Cette génération a également permis d'élargir la gamme de traitements possibles, notamment pour traiter des problèmes de malocclusion plus complexes.

8.1.6 Sixième génération

La sixième génération d'Invisalign, lancée en 2020, a introduit la technologie SmartForce Aligner Activation, qui permet d'appliquer des forces plus précises et plus efficaces pour corriger les problèmes d'alignement et de morsure.

8.2 Clear Aligner® (8)

En 1998, T.W. Kim a développé le système Clear Aligner, qui utilise trois gouttières successives par étape de traitement. Les aligneurs sont thermoformés à partir de trois feuilles de DURAN® d'épaisseurs croissantes (0,5 mm, 0,62 mm et 0,75 mm) pour obtenir un degré d'élasticité différent (CA Soft, CA Medium et CA Hard). Les aligneurs peuvent être produits dans le laboratoire du praticien avec une machine de moulage sous pression, tandis que le set-up est fabriqué de manière centralisée. Depuis 2010, il a été développé en un système entièrement assisté par ordinateur.



Figure 10: Gouttières Clear aligner.

8.3 Le système Orthocaps® (9)

En 2006, Wajeeh Khan a mis au point le système Orthocaps® en utilisant des forces légères pour obtenir des finitions de traitement de meilleure qualité. Ce système consiste à porter deux gouttières en alternance à chaque étape de traitement, d'où le nom de "Twin Aligner". La première gouttière, appelée hardCAPS, est portée pendant la journée, tandis que la deuxième, plus souple, appelée softCAPS, est portée pendant la nuit. Il est recommandé de porter chaque gouttière pendant 10 heures, soit un total de 20 heures par jour, pendant environ 3 semaines.

Le traitement peut être partiel ou global, mono ou bi-arcade. Le système utilise également la conception et la fabrication assistées par ordinateur, en utilisant un set-up virtuel.

Ces aligneurs en général ont fait l'objet de nombreuses améliorations au fil des années grâce à un investissement dans la recherche et développement extrêmement important, de par l'utilisation et le feed-back de plusieurs dizaines de milliers d'orthodontistes utilisant ces techniques.

Chapitre II

La

biomécanique

1 Rappel sur la biomécanique orthodontique

La dent est un organe solide indéformable, lié à l'os alvéolaire par son parodonte (la gencive, le cément, le ligament, et l'os alvéolaire), sa racine est insérée dans cette alvéole rigide auquel elle est reliée par un support élastique, le ligament alvéolo-dentaire. La dent est par conséquent en équilibre dans son environnement élastique; et tout un système de force exercée est à l'origine d'une modification de cet équilibre.

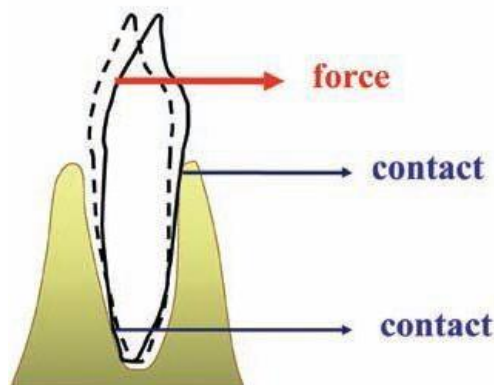


Figure 11: Le déplacement de la dent dans son alvéole.

1.1 Les phénomènes biologiques

1.1.1 La réaction tissulaire au cours de déplacement dentaire (10) (11)

A la fin du XIX^e siècle, Farrar disait : « Les dents se déplacent selon deux types de changements tissulaires, soit par absorption alvéolaire d'un côté et la croissance d'un nouveau support dans l'autre, soit par la déformation de l'alvéole. » À partir de cette hypothèse, Farrar élabore une technique de déplacement des dents par la déformation alvéolaire avec des appareillages. Ensuite un peu plus tard, à partir des travaux d'Oppenheim, Angle développe une nouvelle technique qui interdit les forces qui font ployer l'os, et elle est basée sur le déplacement dentaire par apposition-résorption osseuse.

Ce concept de force légère, est aussi évoluer en fonction des techniques de l'histologie, et des effets iatrogènes observés. Ces effets et les déplacements physiologiques, ont amené les orthodontistes à la recherche des systèmes mécaniques qui vont permettre de réaliser les déplacements dentaires plus proches possibles aux déplacements physiologiques.

a. Les effets primaires

Lorsqu'on exerce une force sur une dent, le déplacement immédiat est à l'origine de deux sortes de phénomènes qui déterminent le mouvement :

- Les contraintes subies par l'os alvéolaire génèrent des courants électriques (phénomène de piézoélectricité) qui modifient le métabolisme des cellules osseuses.
- La compression ou l'extension subie par les différentes zones du ligament alvéolo-dentaire engendrent la compression des vaisseaux sanguins et des fibres ligamentaires, ou la dilatation des vaisseaux sanguins et l'extension des fibres ligamentaires.

b. Les effets à quelques heures

Quelques heures plus tard, nous observons des signes de changement métaboliques, et de différenciation cellulaire :

- L'activité ostéoblastique induit une apposition osseuse dans les zones d'extensions,
- L'activité ostéoclastique induit des résorptions dans les zones de compression, et les remaniements osseux commencent.

c. Les effets à plusieurs jours

Lorsque la force est maintenue pendant trois à cinq jours (le temps de latence), les remaniements osseux deviennent observables, et une néo-alvéole se forme et le même processus peut se répéter afin de prolonger le déplacement initié.

1.2 Les données numériques

1.2.1 La relation entre la force et le mouvement

Le déplacement dentaire est le résultat d'un remaniement osseux, la vitesse de déplacement dentaire est donc liée au turn over tissulaire, et à la dynamique du métabolisme parodontal.

1.2.2 Les seuils

En dessous d'un certain seuil de contrainte, le processus décrit ci-dessus ne se déclenche pas. Au-dessus d'un certain niveau, nous observons des contraintes ligamentaires et osseuses, et une destruction osseuse au sein de la région de compression ; il s'agit de la hyalinisation, le processus de déplacement sera donc bloqué.

1.2.3 Les valeurs optimales

Entre les deux seuils décrits plus haut, le déplacement est comme nous l'avons dit, quasi indépendant de l'intensité de la force. Pour un déplacement en version, avec des zones de compression et d'extension limitées, la force optimale est de 50 grf. Pour un déplacement en

égression pure, avec des zones de compression et d'extension affectant toute la hauteur de la racine, la force optimale est double, de l'ordre de 100 grf.

2 La biomécanique appliquée à l'orthodontie (12) (13) (14) (15)

2.1 Définition

La biomécanique constitue l'étude de l'équilibre statique et des effets des forces sur les systèmes biologiques, c'est une partie très importante dans l'orthodontie. Cette dernière a été toujours considérée comme une spécialité mécanique; parce qu'elle utilise des dispositifs déployant de la force afin de corriger les dysmorphoses maxillo-faciales, donc il est de notre devoir de connaître les lois qui réagissent cette science pour en prévenir les effets néfastes.

2.2 Les principes appliqués en orthodontie

2.2.1 Les trois lois de NEWTON

Ces lois décrivent le déplacement d'un objet soumis à des forces, la deuxième et la troisième loi de NEWTON sont les plus importantes en orthodontie.

- **1ère loi** : En absence de friction, un corps demeure au repos ou continue son déplacement d'une façon uniforme et en ligne droite à moins d'être modifié par une force agissante sur lui.
- **2ème loi** : L'accélération d'un corps est dans la même direction que la force produite et dépend de l'amplitude de la force et de la masse de l'objet ($\text{Force} = \text{masse} \times \text{accélérations}$).
- **3ème loi** : pour chaque action ou force, il y a une force réactionnelle égale (en direction opposée).

2.2.2 La force

Une force est toute action qui entraîne le changement du mouvement d'un Object, elle est représentée par un vecteur, déterminé par: L'intensité, le sens, la direction, le point d'application et le rythme d'application. Les forces peuvent être continues, discontinues ou intermittentes, ce qui influencera sur la qualité histologique de la réponse.

- **Les forces continues:** l'énergie libérée par le dispositif orthodontique décroît très progressivement (la vitesse de décharge de la force est vraiment faible).
- **Les forces discontinues:** l'énergie libérée par le système mécanique diminue très rapidement dès que la dent commence à se déplacer.

- **Les forces intermittentes** : des périodes sans dispositif actif alternent avec des périodes où un dispositif actif est en place.

Les forces sont mesurées en onces, grammes ou newtons, et en orthodontie généralement l'unité de force utilisée est le GRAMME.

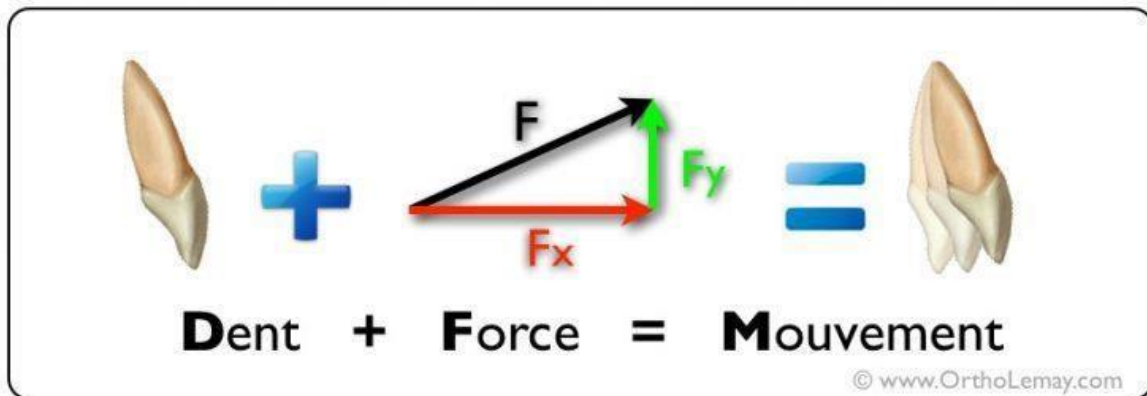


Figure 12: L'effet de la force orthodontique sur la dent. (13)

Les appareillages utilisés en orthopédie dento-faciale délivrent deux types de forces, soit une force intrinsèque ou une force extrinsèque :

- **Les forces intrinsèques** : l'appareil utilisé ne délivre pas la force en lui-même, il utilise un intermédiaire (les muscles) afin d'effectuer les modifications. Ce sont des appareils « FONCTIONNELS » comme l'ACTIVATEUR.
- **Les forces extrinsèques** : dans ce cas l'appareil (amovible ou fixe) utilisé permet d'appliquer un certain type de force afin de corriger l'anomalie, à l'image de MASQUE DE DELAIRE.

2.2.3 Le couple de force appliqué sur une dent

Dans certaines situations (torque, version...), deux forces sont réunies pour réaliser un mouvement, elles constituent un couple de force, lorsqu'elles sont de : même direction, d'une ligne d'action non confondue, d'intensité égale, et de sens opposé.

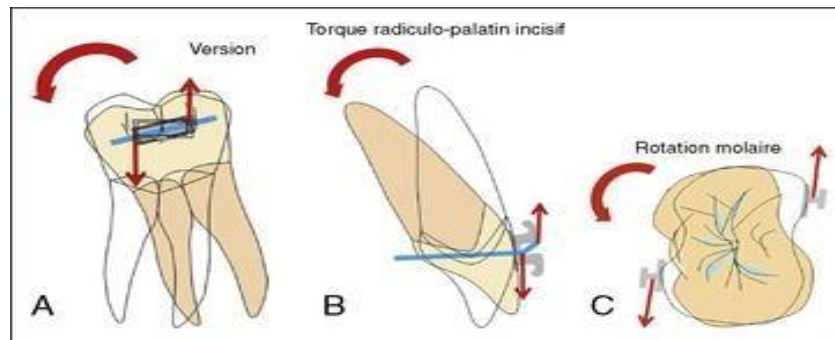


Figure 13: L'utilisation d'un couple de force lors d'un déplacement orthodontique. (13)

2.2.4 Le centre de résistance (CR)

Le centre de résistance est un concept important en orthodontie car les dents ne sont pas des corps libres, les racines étant retenues à l'os alvéolaire par le ligament parodontal. C'est un point mathématique où toute la résistance au déplacement est présumée concentrée, et le point par le quel doit passer la ligne d'action d'une force appliquée sur une dent pour avoir le mouvement de translation pur de cette dent.

La localisation du CR est indépendante du système de force, dépend de :

- **La dent** : la longueur, le nombre et la forme des racines.
- **Parodonte** : la hauteur et la densité de l'os alvéolaire essentiellement.

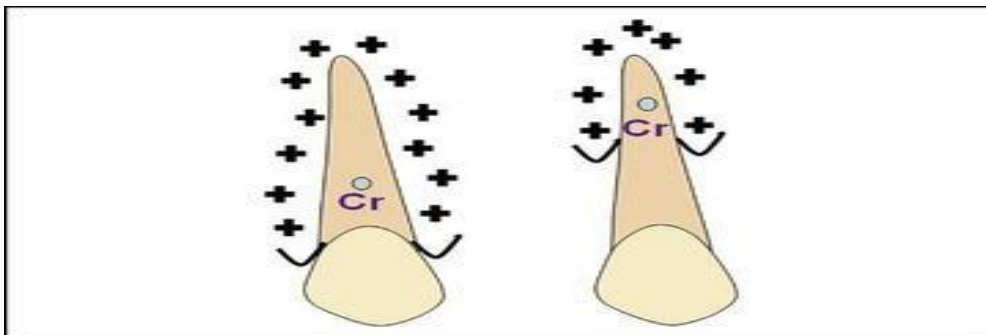


Figure 14: La situation du CR d'une dent en fonction de la hauteur de l'os alvéolaire. (13)

Le CR se situe approximativement au niveau du premier tiers radiculaire (en partant de la crête alvéolaire) pour une dent monoradiculée, et au niveau de la furcation pour une pluriradiculée.

2.2.5 Le centre de rotation (Cr)

Le centre de rotation (Cr) est le point autour du quel un objet tourne, est un point qui est défini en fonction du système de force utilisé. Le Cr varie selon l'emplacement du CR et contrairement à ce dernier. Le Cr dépend du système de force, et ne se situe pas obligatoirement

sur la dent. Une rotation pure se produit lorsque le Cr est situé à l'infini du CR. Une rotation pure se produit lorsque le Cr se superpose au CR.

2.2.6 Le moment d'une force

Lorsque la ligne d'action d'une force ne passe pas par le CR, la dent s'effectue une translation associée à une rotation. Le $M(f)$ caractérise cette rotation, et il correspond au produit de la force par sa distance perpendiculaire au centre de résistance autour duquel le moment se produit.

$$M(f) = F \times d$$

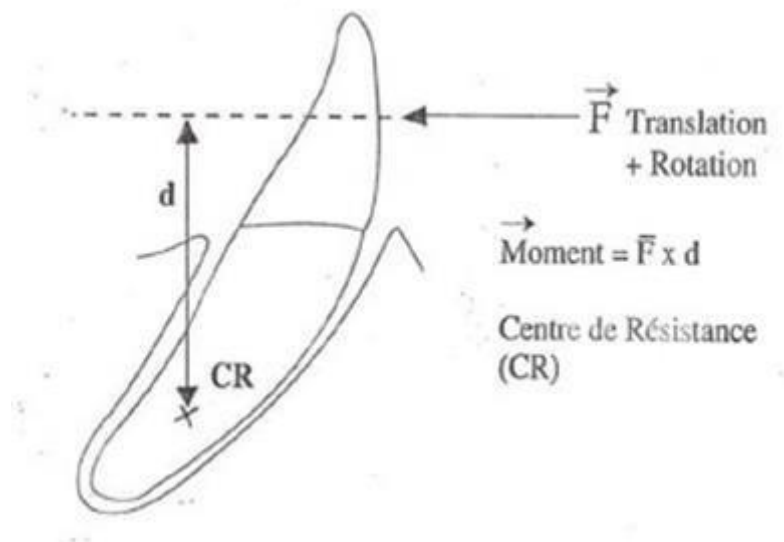


Figure 15: Le moment produit par une force appliquée a une distance du CR. (13)

2.2.7 L'ancrage

L'ancrage en orthodontie est un concept très important parce qu'il fournit une résistance aux mouvements dentaires indésirables. En rappelant que chaque action appliquée a une réaction égale et opposée, par conséquent le système de force utilisé pour déplacer les dents aura une réaction égale et opposée sur le système d'ancrage. L'ancrage peut être intra-arcade, inter-arcade ou extra-oral, à l'image du palais, des dents, des implants, et des structures extra-orales peuvent tous servir d'ancrage.

Le montant d'ancrage requis dépend du plan de traitement, l'ancrage maximal se produit lorsque l'unité d'ancrage ne bouge pas pendant que les dents ou le groupe de dents sont déplacés, et peut être obtenu grâce aux implants (micro, mini, palatin) et aux appareils extra oraux (appareil de traction extra-orale).

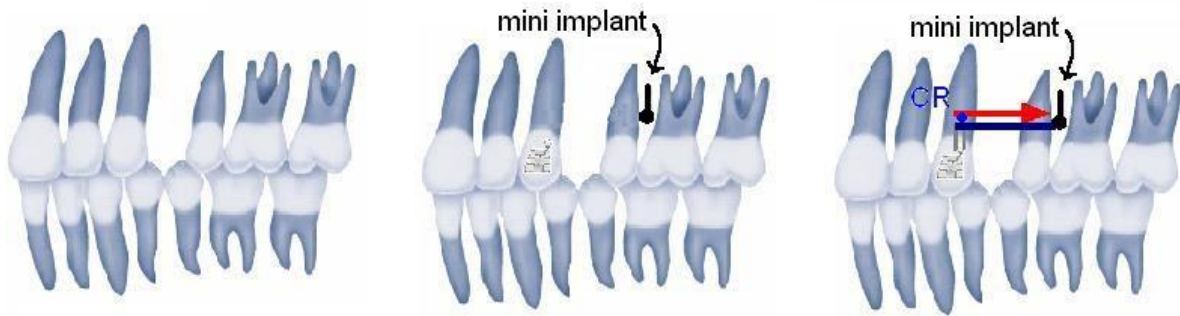


Figure 16: L'utilisation d'un mini implant comme ancrage.

2.3 Les différents mouvements dentaires

L'orthodontiste peut effectuer différents types de déplacement : la version, l'égression, la rotation, le torque, la translation et l'ingression ; grâce aux principes biomécaniques.

2.3.1 La version (tipping)

Ce mouvement c'est le plus facile à obtenir, il est induit par une force simple au niveau de la couronne d'une dent, le Cr de ce déplacement est plus près de l'apex que le CR. Ce mouvement se caractérise par le déplacement simultané de la racine et la couronne en sens inverse.



Figure 17: Le mouvement de version. (14)

2.3.2 La translation (bodily movement)

C'est le déplacement de toute la dent parallèlement à son grand axe, par un système de force dont la résultante se situe au niveau de CR. Le Cr dont ce mouvement est a une distance indéfinie de la dent, car il n'y a pas une rotation.

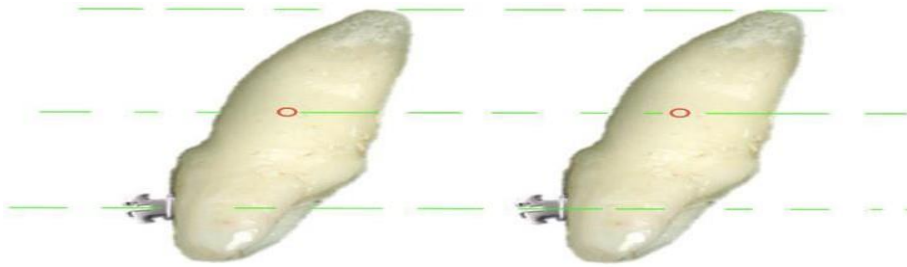


Figure 18: Le mouvement de translation. (12)

2.3.3 Le torque

C'est un mouvement radiculaire qui se produit lorsque le Cr se situe au niveau de la couronne de la dent, plus exactement au bout incisif ou tout près. C'est un déplacement un peu compliqué qui nécessite des dispositifs complexes fixes qui vont permettre de déplacer l'apex, et qui prend plus de temps par rapport au mouvement coronaire à cause de la résorption osseuse qui se produit par le stress important au niveau de l'apex.

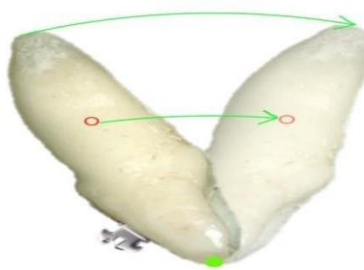


Figure 19: Le mouvement de torque. (12)

2.3.4 Le mouvement d'égression et d'ingression

L'égression et l'ingression, impliquent un mouvement le long de l'axe de la dent. Donc la dent tourne autour de Cr qui est à une distance infinie (aucune rotation).

- L'égression : c'est un déplacement induit par une force verticale agissant dans le sens de l'éruption, Et il peut être aussi physiologique au niveau des dents sans antagonistes.
- L'ingression : C'est un déplacement induit par une force axiale agissant dans le sens opposé à l'éruption.

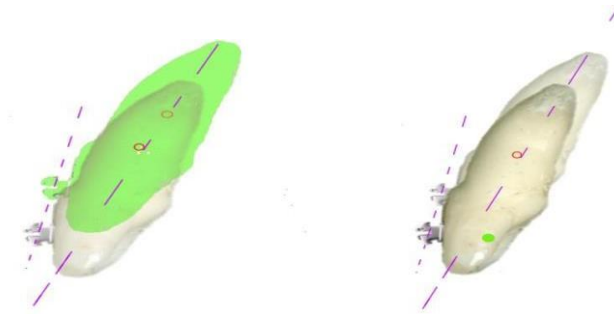


Figure 20: L'intrusion et l'extrusion d'une dent. (12)

2.3.5 La rotation

Ce mouvement induit par un couple de forces appliqué sur la couronne et dans un plan perpendiculaire au grand axe de la dent. Une rotation se produit lorsque le Cr ce trouve au niveau de CR, et la dent tourne autour de ce dernier.

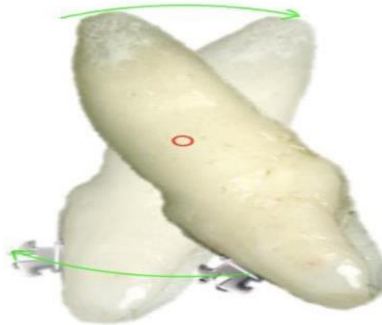


Figure 21: Le mouvement de rotation. (12)

3 La biomécanique des aligneurs

3.1 Les différentes approches biomécaniques (23)

Il y'en a deux approches selon quoi un aligneur peut créer des mouvements :

3.1.1 L'approche dite des déplacements dirigés

Le dispositif d'alignement est fabriqué d'une manière à correspondre à la forme des dents dans la prochaine phase du traitement. Lorsqu'il est placé sur les dents, il guide leur mouvement jusqu'à ce qu'elles atteignent la position prédéfinie dans l'aligneur. Cette méthode est plus efficace pour les mouvements de translation que pour les mouvements radiculaires.

Ainsi, il peut être nécessaire d'avoir recours à un aménagement d'espace entre les dents pour faciliter leurs mouvements et corriger leurs positions.

En général, le praticien dispose de trois options pour créer de l'espace intra-arcade : l'expansion, l'extraction ou la réduction inter-proximale (RIP).

Cependant, avec l'utilisation d'aligneurs, les extractions ne semblent pas être la meilleure option car il peut être difficile pour le praticien de redresser les axes et de fermer l'espace créé.

En revanche, l'expansion avec une gouttière est possible mais la coordination des arcades devient difficile en raison de l'absence de potentiel de croissance chez la population adulte.

Enfin, la réduction inter-proximale ou « Stripping » reste la meilleure option pour créer de l'espace et corriger l'encombrement chez l'adulte. La RIP implique l'élimination sélective d'émail en proximal afin de créer de l'espace pour les mouvements dentaires. Avec cette option, il est possible de conserver une ou plusieurs dents ainsi que l'os alvéolaire correspondant en sacrifiant simplement un peu d'émail.

3.1.2 L'approche dite des forces dirigées

Les dispositifs d'alignement sont conçus pour appliquer une force pure ou un système de forces spécifiques afin de déplacer une dent ou un groupe de dents. Des logiciels sont utilisés permettent l'ajout d'accessoires à l'aligneur pour améliorer l'efficacité du mouvement dentaire tout en respectant les principes de la biomécanique orthodontique. Ce concept permet un contrôle complet de la dent, à la fois de la couronne et de la racine. Les détails sur le fonctionnement de ces accessoires seront expliqués ultérieurement dans ce travail.

La plupart des systèmes d'aligneurs utilisent une combinaison des deux approches mais d'une manière différente.

4 Les auxiliaires des aligneurs

Les auxiliaires des aligneurs peuvent aider à améliorer la prévisibilité des résultats du traitement orthodontique. En les utilisant, les orthodontistes peuvent appliquer des forces spécifiques sur les dents, ce qui peut aider à atteindre les mouvements dentaires désirés d'une manière plus efficace et prédictible. .

4.1 Les auxiliaires propres à la technique (16) (17)

4.1.1 Les taquets, moundings ou attachements

Ce sont des structures composites qui sont fixées aux dents du patient afin d'aider à réaliser les mouvements préalablement planifiés sur le logiciel .Elles peuvent être « conventionnelles », avec des formes et des tailles standardisées, ou optimisées, où une forme et une taille sont

déterminées par le logiciel en fonction de chaque patient et de chaque dent. Elles sont fixées pendant tout le traitement et seront retirées à la fin de celui-ci.

4.1.1.1 Les attachements conventionnels

Les attaches conventionnelles sont des éléments qui aident l'aligneur à mieux s'adapter à la dent. Elles sont utilisées comme des poignées pour permettre aux aligneurs de déplacer les dents. Ces attaches peuvent être demandées par écrit au technicien ou ajoutées via une fonction de glisser-déposer sur les contrôles en 3D. Il y a trois types d'attaches conventionnelles :

- a. **Les attachements ellipsoïdes** : ces taquets sont des éléments passifs qui sont principalement utilisés pour la rétention, l'ancrage et l'extrusion. Ce sont les premiers utilisés par Invisalign. Dans les cas où le logiciel n'est pas en mesure de placer des taquets optimisés, ces taquets peuvent être utilisés en remplacement.

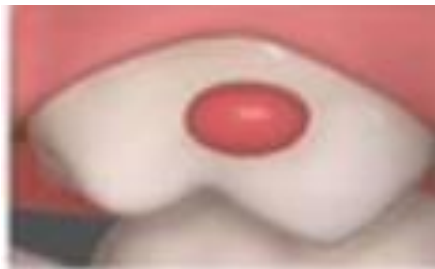


Figure 22: Attachement ellipsoïde. (16)

- b. **Les attachements rectangulaires** :

- **Verticaux** : Les taquets sont appropriés pour le contrôle radiculaire, la rotation et la fermeture des espaces d'extraction.
- **Horizontaux** : Ces taquets sont utilisés pour les mouvements d'intrusion et d'extrusion, ainsi que pour la rétention des aligneurs. Ils peuvent également être utilisés pour le contrôle de torque, en particulier pour appliquer un torque radiculo-vestibulaire sur les molaires. De plus, ils sont utilisés dans les cas où il y a peu de la hauteur clinique ou qu'une interférence occlusale empêche la mise en place d'un taquet rectangulaire vertical.



Figure 23: Attachement vertical et horizontal. (16)

c. Les attachements rectangulaires biseautés : Les attaches horizontales et verticales rectangulaires peuvent être biseautés.

- Les attaches horizontales peuvent être biseautés vers l'occlusal ou vers le gingival pour aider aux mouvements d'intrusion ou d'extrusion.



Figure 24: Attachement rectangulaire horizontale biseauté. (17)

- Les attaches verticales peuvent être biseautés vers le mésial ou vers le distal pour les mouvements de rotation lorsque le logiciel n'a pas placé d'attaches de rotation optimisées.

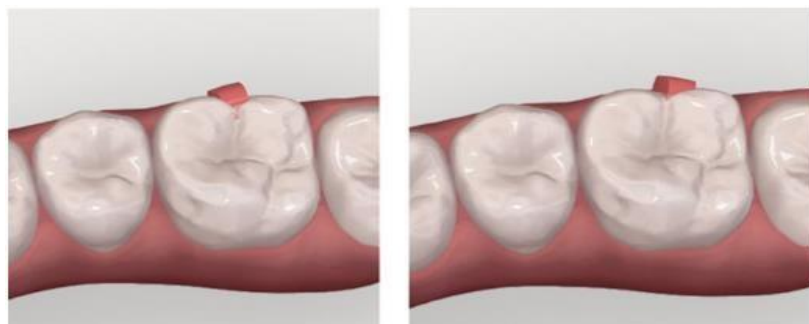


Figure 25: Attachements verticaux biseautés. (16)

4.1.1.2 Les attachements optimisés

Le logiciel place automatiquement des taquets optimisés lorsqu'il détecte certains seuils de mouvement de la dent. Ces taquets sont conçus pour contrôler le point d'application de la force,

sa direction et la quantité de force appliquée personnalisée pour chaque dent. Chaque taquet optimisé possède une surface active dont la géométrie varie en fonction de la morphologie unique de chaque dent. L'objectif de l'aligneur est de déplacer la dent dans la direction désirée en exerçant une force sur cette surface active. Les taquets évoluent au fil de l'évolution de la technologie des aligneurs et des innovations qui ont lieu. Les principes de base des taquets consistent à augmenter la surface de contact entre la gouttière et les dents et à fournir un point d'application de la force pour que la gouttière puisse déplacer les dents. Les différentes formes de taquets optimisés sont choisies en fonction du mouvement désiré et de la dent concernée.

Exemples d'attachements optimisés actuellement disponibles :

a. Taquets optimisés de control du mouvement radiculaire :

Ces taquets sont conçus pour les incisives centrales supérieures, les canines et les prémolaires où ils contrôleront le mouvement des racines.

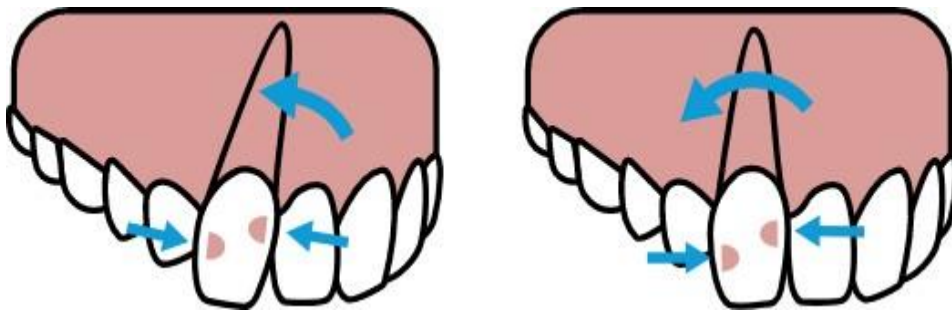


Figure 26: Les taquets optimisés de control du mouvement radiculaire. (16)

b. Taquets optimisés de rotation :

Ceux-ci a sont positionnées pour effectuer une rotation des canines et prémolaires supérieure à 5 degrés. Si l'un de ces attachements doit être remplacé par un autre conventionnel, il s'agira d'un attachement rectangulaire vertical avec un biseau vers le mésial ou le distal.

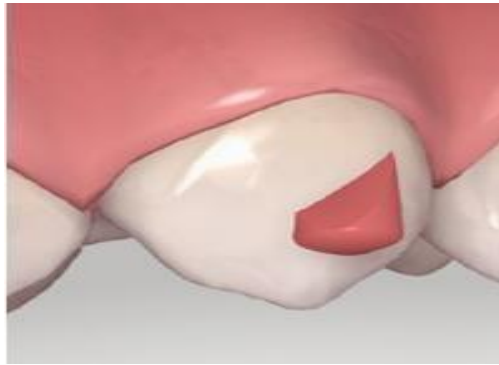


Figure 27: Taquet optimisé de rotation. (16)

c. Les taquets optimisés d'égression :

Ils sont placés au milieu de la face vestibulaire des couronnes.

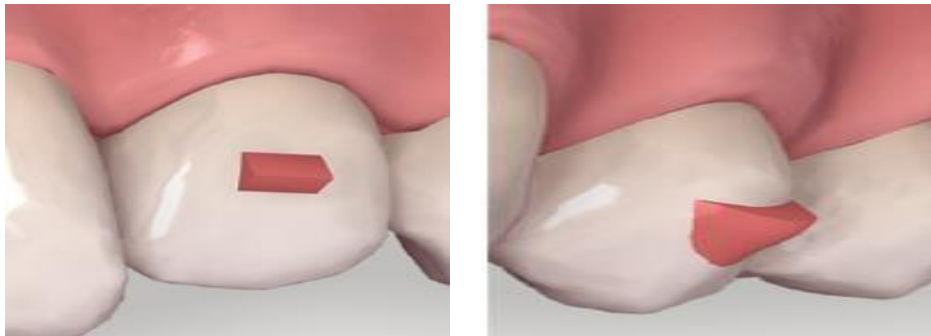


Figure 28: Taquets optimisé d'égression. (16)

d. Les taquets multi-plans optimisés :

Ce sont des attachements conçus pour aider a effectué une combinaison de mouvements au même temps, par exemple : égression et la rotation d'une molaire .

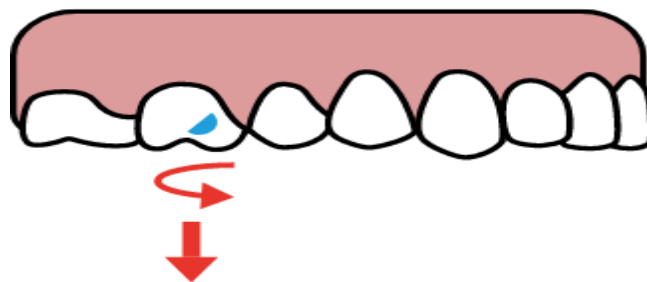


Figure 29: Taquet multi-plant optimisé. (16)

4.1.2 Les points de pression

Ils sont réalisés à l'aide d'une pince d'Hilliard « Hilliard thermopliers ». En altérant l'appareil, des bosses sont créées pour générer des forces capables de déplacer les dents dans

les trois dimensions de l'espace. La pince doit être chauffée à la température appropriée en fonction du matériau plastique utilisé, une fois qu'elle atteint la température optimale, le praticien applique une légère pression sur les poignées pour former la bosse dans le matériau plastique. Il est important de mesurer la température de la pointe de la pince avant le thermoformage.

Ces points de pression peuvent être combinés avec les attachements pour favoriser les mouvements.

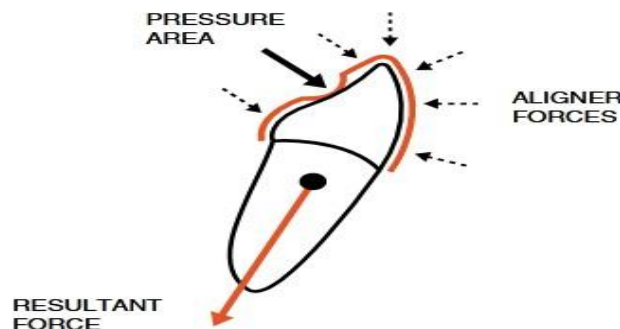


Figure 30: Les points de pression. (16)

4.1.3 Les rampes d'occlusion

a. Les rampes d'occlusion antérieures

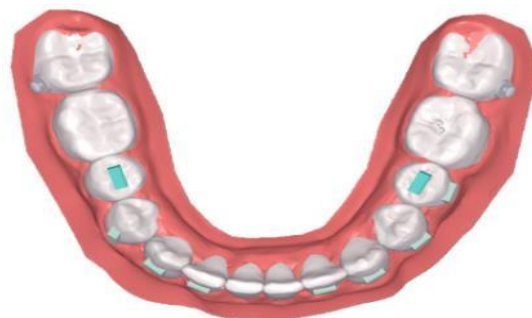
Ils sont Placés lingualemment dans la région antérieure supérieure sur les incisives centrales, les incisives latérales, les canines ou une combinaison de ces dernières. Elles sont couramment utilisées pour traiter les supracclusions profondes/occlusions profondes.

b. Les rampes d'occlusion postérieures

Des rampes d'occlusion postérieures sont placées sur la surface occlusale des prémolaires ou des molaires, dans l'arcade supérieure ou inférieure. Elles sont couramment utilisées pour traiter les occlusions croisées antérieures et postérieures.



Figure 31: Les rampes d'occlusions antérieures



. Figure 32: Les rampes d'occlusions postérieures.

4.1.4 Les ailes de précision « precision wings »

Il s'agit de la dernière innovation d'Align Technology en matière de SmartForces appliquées aux aligneurs, développée pour les fonctions d'avancement mandibulaire. Ils aident le patient en faisant avancer la mandibule sur une base prédéfinie.



Figure 33: Les ailes de précision.

4.1.5 Les power ridges

Ce sont des éléments de conception des gouttières qui permettent d'appliquer un couple de force sur la couronne afin de produire un mouvement de torque. Il convient de noter que les taquets et les power ridges ne peuvent pas être placés sur une même dent.

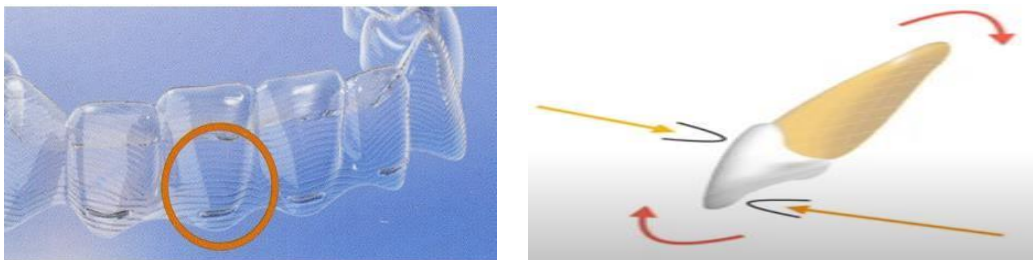


Figure 34: Les power ridges. (17)

4.1.6 Les power arms (24)

On distingue deux types de power arms utilisés comme auxiliaires : les power arms préfabriqués et les power arms manuellement fabriqués à partir d'un fil en acier inoxydable.



Figure 35: Power arms préfabriqués et manuellement fabriqués. (24)

4.1.7 Les pontiques (25)

Ce sont des éléments intermédiaires en résine composite inclus dans l'aligneurs pour remplacer un ou plusieurs dents manquantes.



Figure 36: Pontique à la place de l'incisive latérale supérieure gauche. (25)

4.2 Les auxiliaires identiques à ceux de la technique multi -bagues

4.2.1 Les élastiques (26)

Pour la correction orthodontique avec des aligneurs, des élastiques sont parfois nécessaires pour favoriser certains mouvements. Les élastiques sont choisis en fonction des résultats souhaités et sont placés d'une manière précise. L'utilisation combinée d'aligneurs et l'élastiques permet de corriger efficacement différents types de malocclusions complexes, comme la fermeture d'espaces après des extractions. Des coupes de précision appelées "Precision cuts" peuvent être conçues au niveau des gouttières pour faciliter l'insertion des élastiques. Lorsque le mouvement souhaité est plus important, un bouton orthodontique peut être ajouté, soit directement sur la dent, soit sur les gouttières.

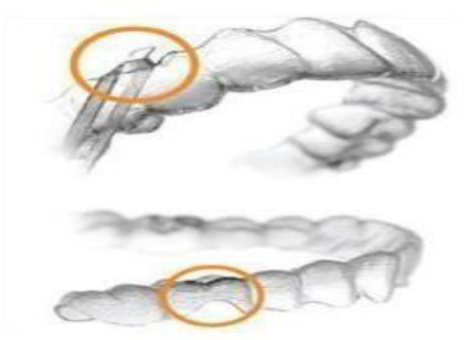


Figure 37: Precision cuts.



Figure 38: L'élastique de classe2 avec l'aligneurs. (26)

4.2.2 Les minivis (27)

Ils sont largement utilisés comme auxiliaires de nos jours . Ces mini-implants sont des dispositifs utilisés dans le cadre d'un traitement orthodontique pour servir d'ancrage. Ils sont retirés une fois qu'ils ne sont plus nécessaires, afin de réduire la durée du traitement et en faciliter la réalisation. Leur mise en place se fait généralement sous anesthésie locale, en vissant

le dispositif à travers la gencive à l'aide d'un tournevis spécial en quelques minutes. De plus, leur retrait peut être effectué sans anesthésie.



Figure 39: L'utilisation d'un minivis avec aligneur. (27)

5 Les critères influençant les forces délivrées par un aligneur

5.1 Les propriétés des matériaux (18) (19)

Les matériaux polymères présentent un fort potentiel dans l'application médicale notamment en orthodontie. Ils sont légers, faciles à fabriquer, et ces propriétés leur permettent d'être utilisés dans la formation des aligneurs. Ces matériaux doivent répondre à ces besoins :

- Une résistance à la force qui dure plusieurs semaines.
- Une durabilité suffisante pour résister aux fissures.
- Une résistance aux taches et à la décoloration.
- Une facilité d'insertion et de retrait pour les patients.
- Une bonne compatibilité aux taquets utilisés.

Le polymère doit être aussi biocompatible, l'épaisseur et le type de ce dernier utilisé dans la conception d'aligneurs influent sur les forces qu'ils délivrent.

5.1.1 L'épaisseur du matériau

Des différentes études ont été faites concernant ; l'influence de l'épaisseur de matériau utilisé dans la formation d'aligneur sur la valeur des forces délivrées à la dent.

Il a été démontré par différents auteurs (Hahn et al, Kohda et al, Kwon et al) que Plus l'épaisseur de l'aligneur est élevée, plus il transmettra des forces importantes.

En outre des gouttières avec une extension plus grande au niveau de bord gingival produisent des forces plus importantes par rapport aux gouttières avec une extension minimales.

5.1.2 Les types des polymères

Il existe une très grande variété des matériaux thermoplastique, aussi bien que les adjuvants, et les renforts ajoutés aux polymères, qui varient considérablement leurs propriétés.

Les polymères, qui sont couramment utilisés en orthodontie notamment dans la production des aligneurs sont :

- Pour les gouttières souples : les acétates de vinyle éthyle (EVA)
- Pour les gouttières de rigidité intermédiaire : les polyéthylènes haute densité (PEHD).
- Pour la réalisation des gouttières rigides : les chlorures de polyvinyle (PVC), les poly méthacrylates de méthyle (PMMA), les polycarbonates (PC), les polymères de styrène (PS), les polyuréthanes (PU), les poly téréphtalates d'éthylène amorphes (PETP).

5.1.3 Les propriétés physiques

Les matériaux thermoplastiques, se caractérisent par une faible masse volumique qui contribue à la diffusion des matières plastiques. Et une conductibilité thermique qui est relativement faible.

5.1.4 Les propriétés mécaniques

La rigidité des polymères est beaucoup plus faible que celle des métaux et des céramiques. Cette rigidité peut changer d'un polymère à un autre, selon le type d'agencement des macromolécules.

En outre, le module d'élasticité d'un polymère varie selon que ce dernier est amorphe, cristallisé, ou ramifié.

5.2 Mode de thermoformage

Le thermoformage, permet à la gouttière d'être capable de résister aux contraintes causées lors de l'insertion, aux chocs occlusaux, ainsi qu'aux forces liées à la mécanique orthodontique associée.

Actuellement, il existe deux systèmes de thermoformeurs : y en ceux qui forment des gouttières sous vide qui est initialement décrite par NAHOUM en 1964 et d'autre par le système

sous pressions, avec la pression d'air positive qui est décrite par NAMARA en 1985, et PONITZ en 1971.

La plupart des aligneurs sont fondés sur le principe de dépression d'air, cela veut dire par un joint d'air en dessous du matériau thermoplastique assurant l'aspiration de ce dernier et son placage sur le model a thermoformer.

Tel que : essix machine, tru form de dental ressources, econo vac, et sta vac...

D'autres génèrent de l'air en pression en dessus de matériau thermoplastique, qui va le plaquer contre le model. Ce type de thermoformage ce caractérise par l'encastrement partiel des granulés d'acier dans le modèle permettant de limiter le thermoformage aux zones non recouverte.

Tel que : le biostar et son dérivé la ministar SCHEU, l'accu-vac, et le BDM.

Selon NAHOUM, l'intimité de l'ajustement, et la capacité à produire les forces sur une dent ou une surface de fixation dépendante de la pression de l'air. Donc les pressions les plus élevées ont tendance à être synonyme d'une meilleure régénération des forces, et d'une plus grande précision.



Figure 40: Le STA-VAC



Figure 41: Le BIOSTAR.

5.3 Durée d'activation (20)

Pour obtenir un mouvement orthodontique des dents efficace, les gouttières simples sont généralement portées pendant une période de 7 à 10 jours, et environ 22 heures par jours. Pendant leurs périodes d'utilisations, les gouttières sont soumises à une exposition prolongée aux différents facteurs qui influencent leurs propriétés.

Ces modifications sont subdivisées en deux catégories :

D'une part, il existe des facteurs comme la présence de la salive, des enzymes, et les colorants alimentaires, qui induisent des changements optiques de matériau, sous formes de

décoloration, ou de pigmentation d'opacité. D'autre part il existe ceux qui affectent les propriétés mécaniques des aligneurs y compris les forces occlusales excessives lors d'un grincement involontaire par exemple, l'insertion et la désinsertion de la gouttière qui cause des contraintes et des déformations. Les changements de la température intra oral aussi peuvent influencer sur leurs propriétés.

5.4 La complexité de la morphologie dentaire (21) (22) (32)

La force appliquée dépend de la morphologie dentaire et pour déterminer où le système de force doit s'appliquer, il est nécessaire d'examiner de manière spécifique l'anatomie dentaire de chaque patient.

L'anatomie et la position de la dent influence sur les forces délivrées, plus l'anatomie dentaire est complexe, plus les forces sont variables.

C'est pourquoi les forces engendrées sont en fonction de type de la dent, et aux différentes faces d'une même dent. Cela est confirmé par l'étude clinique prospective de KRAVITZ ET AL(2009), qui montre que le déplacement de la couronne est plus précis en lingual qu'en vestibulaire, notamment pour les incisives maxillaires.

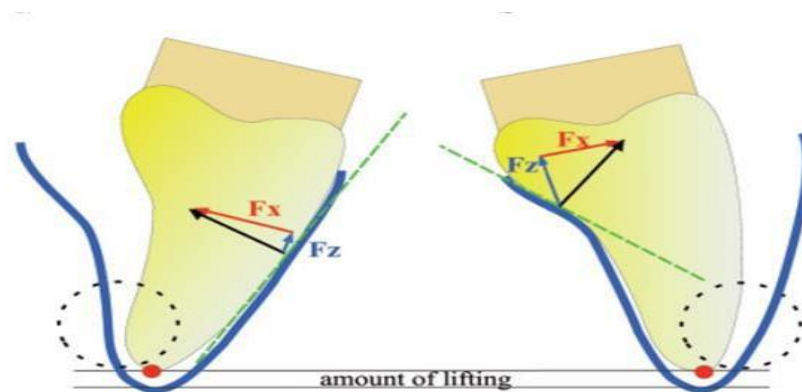


Figure 42: La résultante de la force appliquée sur la face vestibulaire, et en linguale.

Cette étude a aussi démontré que le mouvement de rotation était plus précis avec les incisives centrales (54,2%), tandis que les canines et les prémolaires, maxillaires et mandibulaires, avait la plus faible précision de rotation (39 %). Ces données suggèrent que les dents dont la couronne est arrondie, ont plus de difficultés à corriger les rotations. L'auteur recommande une sur-corrrection des rotations des prémolaires et des canines.



Chapitre III

Les limites

des aligneurs

1 Indications et contre-indications des aligneurs (17)

Une évaluation minutieuse de l'utilisation des aligneurs doit être effectuée en fonction de la complexité des mouvements dentaires nécessaires pour atteindre les objectifs de traitement. L'utilisation simultanée d'autres systèmes orthodontiques peut étendre les indications des aligneurs dans certains cas.

1.1 Indications

Tableau 1: Faisabilité moyenne des traitements par aligneurs Invisalign sans l'aide d'auxiliaires.

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

Les indications sont multiples :

- La correction des décalages sagittaux avec des mouvements dentaires de distalisation/mésialisation : classes I, II et III d'Angle.
- La fermeture des diastèmes.
- DDM.
- Les traitements orthodontiques avec ou sans extractions.

- Les préparations d'un traitement ortho-chirurgical.
- La correction des décalages transversaux : endo/exo-position +/- articulé inversé.
- Les malpositions dentaires : versions, rotations.
- La préparation pré-prothétique ou pré-implantaire.
- Les corrections des décalages verticaux : ingression, égression, infraclusion, supraclusion.
- Les mouvements secondaires à des parodontopathies traitées.
- Les récurrences des traitements orthodontiques.
- Les patients porteurs de nombreuses prothèses fixes sur lesquelles le collage de brackets est compliqué.
- Les patients atteints de bruxisme puisque les aligneurs réduisent les inconforts myofaciaux liés aux serremments et grincements des dents.
- Les patients présentant un risque carieux élevé, ou des défauts amélaire contre-indiquant le collage de brackets.

1.2 Contre-indications

1.2.1 Dues aux patients

Il y a plusieurs raisons pour lesquelles un traitement orthodontique avec aligneurs peut ne pas convenir à certains patients. L'âge peut être un facteur, car un patient trop jeune peut avoir du mal à comprendre et à coopérer avec le traitement. Les problèmes médicaux peuvent également empêcher certains patients de suivre un traitement, notamment les patients présentant des handicaps physiques ou mentaux graves ou des démences. De plus, un profil psychologique dépressif ou un manque de coopération peut également rendre le traitement difficile. Enfin, une hygiène insuffisante ou la présence des maladies carieuses ou parodontales actives peuvent également limiter les options de traitement orthodontique pour les patients.

1.2.2 Dues à l'anatomie /morphologie dentaire

Plusieurs facteurs anatomiques ou morphologiques des dents peuvent empêcher le traitement d'être efficace. Les dents courtes, par exemple, peuvent limiter la surface disponible pour que l'aligneur se fixe correctement sur les dents et ne permettent pas les déplacements dentaires souhaités. Les taquets, qui sont des éléments collés sur les dents pour maintenir l'aligneur en place, ne peuvent pas toujours compenser ce problème. Les particularités anatomiques des dents, telles que leur forme ronde ou riziforme, peuvent également limiter les

contacts entre les dents et l'aligneur, ce qui entraîne une perte d'informations transmises et un manque d'adhérence dans l'aligneur. Les patients ayant des antécédents de résorption radiculaire ou des racines courtes peuvent également avoir des difficultés avec le traitement orthodontique.

Les dents nécessitant des soins, les dents incluses et les édentements étendus peuvent fragiliser les aligneurs et limiter leur efficacité.

1.2.3 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.

1.2.4 Dues à l'expérience du praticien

Il est important pour un praticien de bien évaluer la complexité de chaque cas et de déterminer s'il est capable de mener à bien le traitement jusqu'à son terme. Cette évaluation permet de déterminer si le traitement est réalisable et s'il est adapté aux besoins et aux capacités du patient. Cela permet également de s'assurer que le traitement est réalisé d'une manière efficace et en toute sécurité. La capacité du praticien à mener à bien le traitement est essentielle pour garantir des résultats optimaux et éviter des complications.

2 Avantages et inconvénients (23) (28) (29)

2.1 Les avantages

2.1.1 L'esthétique

Les aligneurs dentaires offrent une esthétique remarquable car leur transparence optique les rend pratiquement invisibles. Ils sont discrets et conçus pour s'adapter parfaitement au profil des dents, ce qui les rend adaptés à la vie sociale et professionnelle. On peut également noter une amélioration du sourire dès la pose de la gouttière, en raison de la brillance due à la réflexion de la lumière sur les dents recouvertes par l'aligneur. En outre, il est possible de remplacer une dent manquante en ajoutant une dent en composite à l'aligneur, créant ainsi un "espace pontique" personnalisé sur demande.

2.1.2 L'amovibilité

Les aligneurs sont des dispositifs orthodontiques amovibles, ce qui facilite leur insertion et leur retrait pendant les repas et lors de la réalisation des gestes d'hygiène bucco-dentaire. En outre, ils peuvent être facilement nettoyés après chaque retrait de la cavité buccale, ce qui permet un entretien simple et pratique. Pour cela, des brosses de prothèses et un bac à ultrasons peuvent être utilisés.

2.1.3 Le confort

Les aligneurs sont conçus sur mesure avec une grande précision, ce qui offre un confort indéniable aux patients en permettant une adaptation parfaite aux dents jusqu'à la limite gingivale. Cela favorise un glissement naturel des lèvres, des joues et de la langue sur l'aligneur, évitant ainsi les irritations et les blessures. Les fonctions telles que l'élocution et la mastication sont très peu perturbées.

2.1.4 La communication facile avec le patient

La communication avec le patient est grandement facile grâce à la possibilité de visualiser virtuellement le traitement. Le patient peut ainsi recevoir plusieurs informations qui lui permettent de donner un consentement éclairé, telles que la durée exacte du traitement, le type des mouvements dentaires prévus, le nombre d'aligneurs et d'éventuels taquets, ainsi que les réductions inter-proximales si nécessaires. Récemment, la société française Smiler® a développé une technologie innovante permettant de superposer une représentation 3D animée du traitement sur la photographie du patient, ce qui lui permet de visualiser les étapes du traitement jusqu'au résultat final directement sur lui-même.

2.2 Inconvénients

2.2.1 Sur le plan esthétique

Dans certains cas, les bulles de salive peuvent être visibles à cause d'un mauvais contact entre la surface dentaire et l'aligneur. Cela peut être dû à une discordance entre les mouvements prévus par le logiciel ClinCheck® et la réalité, ou à un mauvais ajustement entre la dent et l'aligneur. De plus, lorsque des attachements sont présents sur les dents antérieures, des zones d'ombre peuvent apparaître, ce qui peut altérer l'esthétique du traitement.

2.2.2 La Coopération du patient

La compliance du patient est essentielle dans le traitement par aligneurs, car l'appareil étant amovible, il peut être facilement oublié contrairement à un appareil fixe. La motivation du

patient doit être évaluée avant de proposer ce type de traitement, et sa collaboration doit être maintenue tout au long de la thérapie.

2.2.3 Perte de l'aligneur

Il est possible que les aligneurs se perdent ou soient altérés par la manipulation du patient, ce qui peut ralentir le traitement.

2.2.4 Les troubles de l'élocution temporaires

Au début du traitement, les aligneurs peuvent affecter la mobilité de la langue et des lèvres. Ces perturbations sont généralement temporaires et s'améliorent en quelques jours voire quelques semaines.

2.2.5 Le Coût

Le traitement orthodontique par les aligneurs peut être plus coûteux que d'autres alternatives de traitement conventionnelles. Cela peut s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment le coût élevé de la technologie de la numérisation 3D utilisée pour concevoir les aligneurs personnalisés, ainsi que le coût des matériaux utilisés pour fabriquer les aligneurs eux-mêmes. De plus, les frais d'installation et de suivi peuvent également être plus élevés que pour un traitement conventionnel. Cependant, le coût total dépendra de plusieurs facteurs, tels que la durée du traitement, le nombre d'aligneurs nécessaires et la complexité du cas.

3 Limites des aligneurs (30) (33)

Les aligneurs ne permettent pas toujours d'obtenir le mouvement dentaire planifié, tel qu'un torque incisif, une dérotation des canines ou prémolaires, ou une distalisation des molaires, bien que ces mouvements soient théoriquement possibles. Les résultats d'études ont montré que l'efficacité moyenne des aligneurs était de 59%, avec une efficacité de respectivement 40 et 42% pour les dérotations des prémolaires et torques d'incisives, et de 32,2% pour les dérotations des canines. Les dérotations d'incisives centrales maxillaires ont donné des meilleurs résultats, avec une efficacité moyenne de 54%. Les études ont également montré que le traitement par aligneurs est plus efficace lorsque le mouvement à effectuer n'excède pas 1,5 degré. Il est également recommandé de respecter les trois facteurs suivants pour améliorer l'efficacité des aligneurs: indication posée correctement, planification des sur-corrrections, bonne expérience de l'orthodontiste.

Ceci vaut aussi pour la fermeture d'un espace dentaire après une extraction qui peut être difficile à réaliser avec des aligneurs, car les mouvements effectués sont principalement des inclinaisons et non des translations. Ainsi, le résultat peut être incertain et il est recommandé d'utiliser une combinaison d'aligneurs et d'appareils fixes multi-attaches pour obtenir des résultats satisfaisants.

De plus, le port de prothèses dentaires telles que des couronnes conjointes, des bridges ou des prothèses partielles peut rendre le traitement par aligneurs plus difficile ou impossible, nécessitant ainsi un haut niveau d'expertise du praticien. Les couronnes ne peuvent pas retenir les auxiliaires nécessaires pour les aligneurs, les bridges peuvent créer des contre-dépouilles qui rendent l'insertion et la désinsertion des gouttières plus difficiles, et les prothèses partielles doivent être remplacées car le déplacement des dents dans l'arcade antagoniste peut les empêcher de s'adapter correctement.

En outre, les implants dentaires peuvent s'opposer au résultat souhaité car contrairement aux couronnes, ils ne peuvent pas être bougés. Si un patient a un implant au niveau des incisives et qu'il y a des chevauchements à cet endroit, le déplacement des dents ne peut pas se faire correctement. Par conséquent, il est conseillé de consulter un orthodontiste avant de poser un implant dentaire pour s'assurer que cela ne compromettra pas le traitement orthodontique.

Chapitre IV

Prédictibilité

des

mouvements

1 Prédicibilité des mouvements obtenus avec les aligneurs

Plusieurs recherches scientifiques se sont penchées sur la question de l'efficacité des traitements orthodontiques par aligneurs dans le control des mouvements dentaires programmés. Dans le cadre de notre travail, nous avons réalisé une recherche et une analyse de bases de données bibliographiques médicales et scientifiques dans le but d'évaluer la prédicibilité des mouvements dentaires obtenus avec les aligneurs, en mettant en valeur les quatre principaux types de mouvements :

- Le sens horizontal : translation, version.
- Le sens vertical : ingression, égression.
- Le contrôle des axes radiculaires lors de mouvement du torque.
- La dérotation.

1.1 Mouvement de version

Selon de nombreuses études (22, 36, 38, 41, 44,45), le mouvement horizontal de version est considéré comme le mouvement le plus précis. En 2009, Kravitz a calculé que l'efficacité de la version vestibulaire était de 40% (2020:54%) (46), tandis que celle de la version linguale était de 47,1% (2020: 57%) (49). En 2017, une étude suggère que le mouvement mésio-distal était le plus précis à 82,5%, suivi du mouvement vestibulo-lingual à 72,9%. En 2018, une autre étude indique une efficacité élevée tant au maxillaire (77,5%) qu'à la mandibule (91,5%). Il a été démontré que la version linguale des dents est plus précise que la version vestibulaire, notamment pour les incisives centrales et latérales maxillaires.

1.2 Mouvement de translation

Le mouvement de translation est également un mouvement précis notamment dans la distalisation des molaires maxillaires 93,4%(44) ,88,4%(40) , 87,7%(50) , 88%(41) sur au moins 1.5mm (41) .

Il a également été démontré que le mouvement mésio-distal des prémolaires mandibulaires était très précis à 96,7% (44), ainsi que celui des incisives mandibulaires à 87,7% et des incisives maxillaires à 70% (44). En 2015, Simon a souligné que les meilleurs résultats ont été obtenus en utilisant des taquets.

1.3 La dérotation

La rotation est en fait le mouvement le moins précis à réaliser avec des aligneurs, selon les études. Dès 2009, Kravitz a déclaré que la rotation, en particulier la rotation canine, était un mouvement complexe et moins efficace que la rotation des autres dents (22), avec un taux d'efficacité de seulement 30% (2020: 37%) (49). En 2013, Aileen a suggéré que le système était efficace pour les rotations antérieures, mais pas pour les rotations de plus de 15°.

Le système est également moins efficace lorsque la couronne clinique de la dent à déplacer est anatomiquement ronde, comme l'ont suggéré plusieurs études (41) (43). Dans de tels cas, il est donc évident d'utiliser des taquets adaptés pour améliorer l'efficacité du mouvement avec les aligneurs.

En 2017, une étude a calculé une efficacité de rotation de 66,8%, avec la rotation des canines mandibulaires étant toujours le mouvement le moins précis à 54,2% (44). Même si l'efficacité s'améliore avec le temps, les rotations restent significativement moins précises que celles prédites, avec un taux de réussite allant de 57% à 76% (45). L'étude d'Haouili en 2020 a évalué la précision des rotations à seulement 46%, ce qui implique une perte de la moitié de l'information (49).

Plusieurs auteurs recommandent de planifier des surcorrections, en particulier si les rotations dépassent 15°, d'utiliser des attaches et de réduire le staging à moins de 1,5° par gouttière.

1.4 Mouvement d'ingression

Les résultats concernant l'ingression sont mitigés : selon Kravitz en 2009 (22), Invisalign n'est pas recommandé pour la correction des supraclusions importantes. Aileen recommande par la suite une sur-correction pour le traitement des supraclusions, les dents antérieures étant positionnées de manière plus occlusale que prévu (43) . Rossini (41) est le seul auteur en 2015 qui a conclu que le système est efficace pour les ingressions antérieures et le recommande pour le traitement des supraclusions légères. En 2018, Charalampakis (45) déclare que l'ingression des incisives est très peu précise (incisives mandibulaires : 26% ; canines 51%). Récemment, Haouili (49) calcule une précision de ce mouvement (ingression des incisives centrales antérieures) d'environ 33%, ce qui reste assez faible, avec ainsi une perte de 2/3 de l'information.

1.5 Mouvement d'égression

En 2009, Kravitz a calculé une efficacité d'égression de 29,6%, considérant que c'était le mouvement le moins précis, avec un déplacement moyen de 0,56 mm. Selon lui, l'égression

était limitée au traitement des béances antérieures par extrusion incisive de moins de 1,5 mm (22). Cependant, les mouvements d'égressions antérieures ont été remis en question jusqu'en 2015 (41). En 2018, Charalampakis a conclu que l'égression des dents antérieures maxillaires était un mouvement efficace, sans différence significative par rapport aux résultats prédits (45). Une revue de littérature en 2020 a également observé une amélioration du mouvement d'égression des dents antérieures, grâce à l'apparition de taquets optimisés et aux avancées biomécaniques dans la compréhension de ce mouvement (48). En effet, en 2020, Haouili a calculé une efficacité de 55% pour l'égression des dents antérieures (49).

1.6 Mouvement de torque

Le mouvement de torque est un mouvement controversé en orthodontie. Selon Simon en 2014, l'efficacité du torque incisif était de 50% (40). Rossini en 2015 a conclu que le contrôle du torque postérieur était efficace, mais pas en antérieur (41). Cependant, en 2017, Grünheid a observé un excès de torque des deuxièmes molaires maxillaires, indiquant un excès de mouvement de bascule plutôt qu'un mouvement de torque complet de la dent (43). Quelques études ont constaté que le torque est plus prévisible avec utilisation d'auxiliaires type Power ridge renforçant au niveau cervical le contact entre la dent et la surface interne de l'aligneur permettraient d'obtenir plus de contrôle radiculaire et donc optimiser la prédictibilité.

Le tableau ci-dessous a été rédigé par Weir en utilisant une synthèse des données rapportées de deux des plus grandes entreprises de fabrication d'aligneurs, Align Technology et ClearCorrect. (31)

Tableau 2: La prédictibilité des mouvements dentaires avec aligneurs.

TOOTH MOVEMENT	PREDICTABILITY WITH ALIGNERS ALONE		
	Predictable	Moderate	Difficult
Crowding or spacing per arch	Up to 6mm	6-8mm	>8mm
Midline discrepancy	Up to 2mm	2-3mm	>3mm
Central incisor rotation	Up to 40°	40-50°	>50°
Lateral incisor rotation	Up to 30°	30-40°	>40°
Canine and premolar rotation	Up to 45°	45-55°	>55°
Molar rotation	Up to 20°	20-30°	>30°
Anterior extrusion per arch	Up to 2.5mm	2.5-3mm	>3mm
Anterior intrusion per arch	Up to 0.5mm	0.5-1mm	>1mm
Posterior intrusion per arch	Up to 0.5mm	0.5-1mm	>1mm
Posterior extrusion per arch	0mm	0.5mm	>0.5mm
Expansion per quadrant	Up to 2mm	2-3mm	>3mm
Anteroposterior correction	Up to 2mm	2-4mm	>4mm
Incisor lingual root torque	0-10°	10-15°	>15°
Posterior tooth lingual root torque	0-5°	5-10°	>10°
Posterior tooth distal movement (maxilla)	0-2mm	2-4mm	>4mm
Posterior tooth mesial movement	0-1mm	1-2mm	>2mm

En dehors de ces mouvements l'âge moyen des patients observés révèle un manque d'informations concernant les jeunes adolescents ce qui montre que les aligneurs sont une option thérapeutique privilégiée pour les adultes sans potentiel de croissance ou en fin de ce dernier.

2 Surmonter les limitations des aligneurs ; une approche hybride

Les études cliniques des 15 dernières années ont montré que les aligneurs transparents sont moins prévisibles pour certains types de mouvements dentaires, notamment, la rotation des canines et prémolaires, la translation dans les espaces d'extractions et la correction sagittale. La fiabilité relativement faible de ces mouvements est restée constante, malgré les avancées technologiques des aligneurs transparents en termes de matériaux, attachements et protocole

utilisé. Pour surmonter certaines de ces limitations une nouvelle approche dite hybride a été développé.

2.1 Définition (51) (52)

Le traitement d'aligneurs hybrides, également appelé mécanique hybride, combine l'utilisation d'aligneurs transparents avec d'autres dispositifs, tels que les appareils fixes, les appareils fabriqués en laboratoire ou les auxiliaires. Cette approche tire parti des avantages des aligneurs transparents amovibles tout en prenant en compte leurs limitations dans la réalisation de certains mouvements dentaires.

Les dispositifs les plus fréquemment utilisés dans cette approche sont :

- **Le système multi attache :**

Le traitement d'aligneurs hybrides le plus courant combine l'utilisation d'aligneurs transparents avec un système multi-attaches fixe. La forme la plus fréquemment utilisée est la combinaison d'aligneurs sur une arcade et des brackets sur une autre. Cette approche peut également impliquer l'utilisation des deux sur la même arcade, avec un système multi-attaches partiel.

En outre, le traitement d'aligneurs hybrides peut également inclure la pose d'appareils fixes labiaux complets ou partiels sur l'arcade supérieure et/ou inférieure avant la mise en place des aligneurs transparents.



Figure 43: Appareil fixe complet inférieur avec aligneur supérieur. (52)



Figure 44: Appareil lingual inférieur utilisé sous l'aligneur. (52)



Figure 45: Un appareil labial inférieur placé immédiatement après l'extraction.

Le patient est passé aux aligneurs transparents après 04 mois.(52)

- **Appareils fabriqués en laboratoire :**

En plus des appareils orthodontiques fixes, les traitements d'aligneurs hybrides peuvent inclure l'utilisation des dispositifs fabriqués en laboratoire. Il s'agit notamment d'appareils avec bande, tels que les activateurs palatins rapides, d'appareils fonctionnels fixes comme le Herbst et l'appareil de repositionnement antérieur mandibulaire (MARA), ainsi que des dispositifs de distalisation. Ces dispositifs sont généralement utilisés juste avant la mise en place des aligneurs transparents dans le cadre d'un traitement global chez les adolescents présentant des problèmes squelettiques. Le MARA, par exemple, offre une alternative plus prévisible à la fonction d'avancement mandibulaire d'Invisalign.

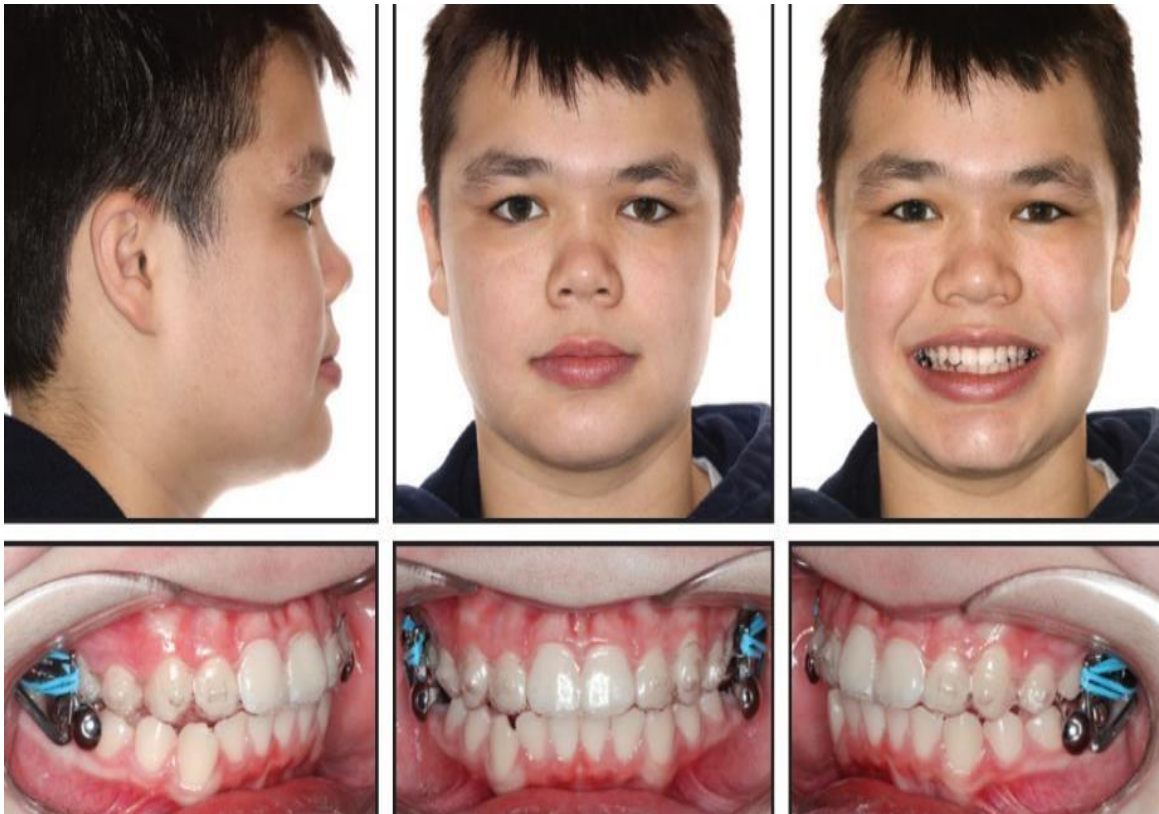


Figure 46: Patient portant un aligneur supérieur au même temps qu'un dispositif de repositionnement antérieur mandibulaire MARA. (53)

- **Les auxiliaires :**

Les cliniciens peuvent également tirer parti d'auxiliaires, tels que des mini-vis et des boutons adhésifs, pendant le traitement avec des aligneurs transparents. L'utilisation d'ancrage par mini-vis pour extruder des canines supérieures incluses ou pour réaliser une intrusion en est un exemple courant.



Figure 47: Utilisation des minivis avec un aligneur pour l'intrusion.

Définir la technique de traitement avec aligneurs hybrides peut être difficile, car tous les cas d'utilisation d'appareils fixes ne relèvent pas de cette catégorie. Par exemple, lorsque des appareils fixes sont utilisés après un non-respect du traitement, ou pour la fixation d'élastiques inter-arcades, cela ne devrait pas être considéré comme un traitement d'aligneurs hybrides. Selon notre définition, un traitement d'aligneurs hybrides implique que le composant fixe est planifié comme une partie intégrante du traitement complet d'aligneurs transparents et qu'il permet des mouvements squelettiques ou dentaires qui ne pourraient pas être prédits de manière fiable par les aligneurs seuls.

2.2 Application de la technique

Cette technique peut être appliquée pour différents types de corrections :

2.2.1 Correction des rotations (51) (56) (60)

La capacité de rotation des dents dépend fortement de l'anatomie de la dent et de la manière dont les points de pression des aligneurs la saisissent. Dans la littérature, la précision des aligneurs transparents est décrite comme insuffisante pour déroter les canines et les prémolaires. Les dents arrondies sont les plus difficiles à contrôler avec les aligneurs (environ 1/3 de ce qui est prédit).

Il y a plusieurs raisons à ce manque d'efficacité, telles que la mauvaise transmission des forces lors du mouvement, la faible adhérence entre la gouttière et la dent, ou encore le fait que la dent n'est parfois pas entièrement insérée dans la gouttière. Ces problèmes peuvent être dus à un défaut de planification du traitement, ainsi qu'à des erreurs lors de la prise d'empreinte, de la création des gouttières ou du matériau de la gouttière lui-même.



Figure 48: La faible adhérence entre la gouttière et la dent.

Pour remédier à ce problème, une première astuce a été la création des "chewies" (Chewies Aligner Tray Seaters, Dentsply) qui améliorent l'ajustement de la gouttière et comblent l'espace

entre elle et la dent. Il s'agit de rouleaux en plastique sur lesquels le patient doit mordre pour bien positionner la gouttière. Il est recommandé au patient de les utiliser pour tous les types de mouvement pendant quelques minutes par jour, notamment les premiers jours après un changement de gouttière.



Figure 49: Illustration de chewies.

L'approche hybride, notamment sur les dents les plus difficiles à dérouter, consiste en un appareil lingual partiel fixe, une réduction du nombre d'attaches dans les zones esthétiques et un nombre limité des gouttières transparentes.

La première étape de cette procédure consiste à placer des tubes sur la face linguale ou palatine des dents en rotation et sur les dents adjacentes ; ensuite, une empreinte précise est nécessaire pour simuler la présence d'un arc lingual dans le montage et conserver l'espace physique sous les gouttières transparentes. Ce système peut être configuré d'une manière à ce que les aligneurs couvrent ces sections sans les toucher réellement. Cela leur permet de guider le mouvement des dents, d'éliminer les mouvements indésirables et d'augmenter le confort du patient.

Par ces moyens, les cliniciens ont réussi à obtenir une rotation correcte en seulement 10 étapes sans aucun affinement ou bouton composite. En d'autres termes cette approche hybride permet d'améliorer à la fois la prévisibilité et le temps de traitement.

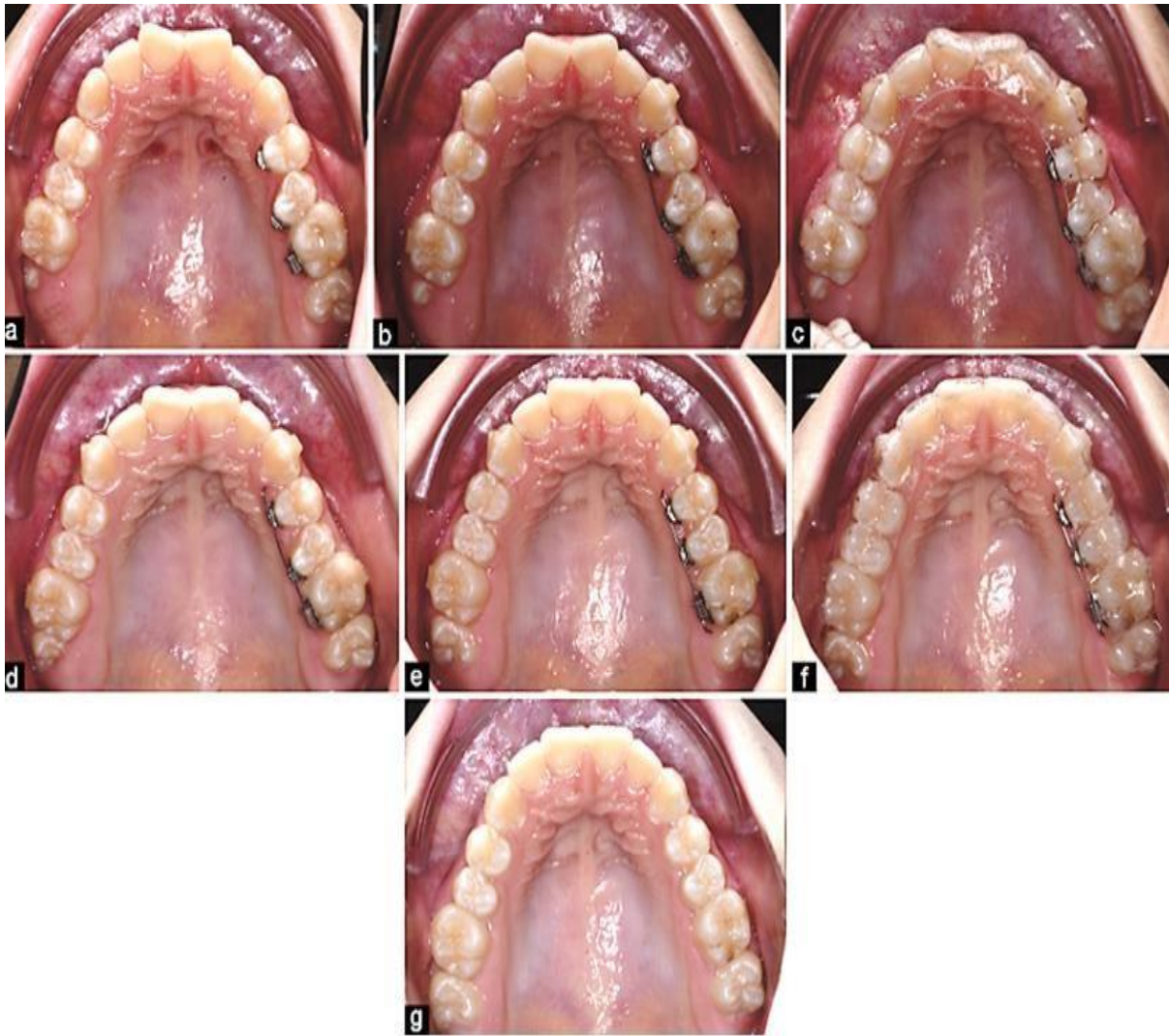


Figure 50: La correction d'une rotation. (51)

(a) Tubes linguaux placés sur les dents en rotation et sur les dents adjacentes suivis d'empreintes ; (b et c) début du traitement hybride avec des gouttières transparentes associées à une insertion d'arc 0,013 CuNiTi dans des tubes linguaux ; (d) 2 mois plus tard, les gouttières transparentes continuent de suivre l'expression de l'arc CuNiTi ; (e et f) 4 mois après le début, la rotation est corrigée ; (g) résultat final.

Les boutons avec des chaînes élastiques segmentaires peuvent aussi être efficaces pour corriger les dents sévèrement tournées, telles que les prémolaires. Dans la planification du traitement virtuel pour de tels cas, il est important de compenser les effets secondaires indésirables créés par la chaîne élastique segmentaire sur les dents d'ancrage.



Figure 51: Boutons collés utilisés avec une chaîne élastique segmentaire pour la dérotation de la deuxième prémolaire inférieure gauche. Les attaches horizontales peuvent être placées sur la surface linguale de la prémolaire en rotation et sur la surface mésiovestibulaire de la première molaire ; envisager de compenser la chaîne élastique en programmant une légère rotation mésiale vers l'extérieur de la première molaire inférieure. (51)

2.2.2 Egression ingression et correction verticale (51) (56) (58) (59) (60)

Les mouvements sur le plan vertical sont également difficilement prévisibles, ce qui rend les aligneurs largement inadaptés aux cas comportant des extrusions ou des intrusions majeures. Si on doit corriger seulement quelques dents sur le plan vertical, une approche hybride similaire à celle décrite pour la correction de la rotation peut être utilisée. Cette approche implique l'utilisation d'appareils linguaux fixes partiels avec des tubes de hauteurs différentes pour faciliter les mouvements planifiés. La position des tubes linguaux dépend de la différence de la hauteur entre les dents à corriger et les dents adjacentes. Une empreinte précise doit être prise pour simuler la présence d'un arc lingual dans la configuration initiale et pour maintenir l'espace physique sous les aligneurs.

Les boutons, les minivis et les élastiques peuvent également être utilisés de différentes manières pour induire une intrusion ou une extrusion d'une dent ou d'un groupe de dents.

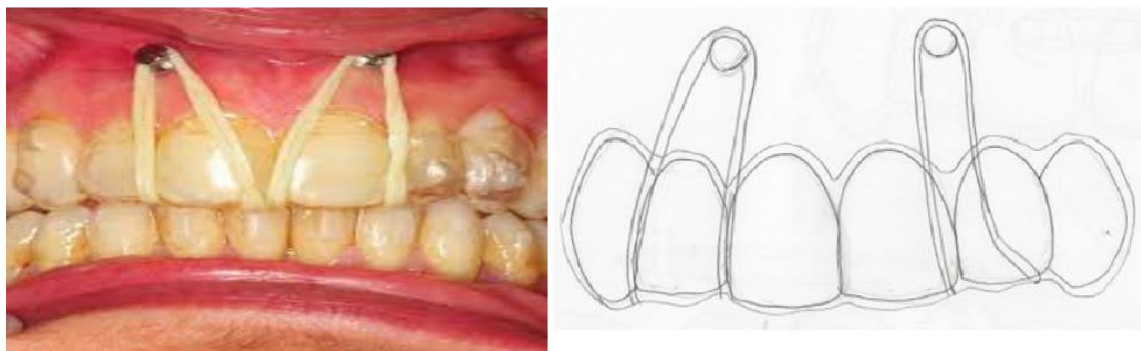


Figure 52: Les minivis placés en vestibulaire et linguale, vestibulaire et palatin. (56)



Figure 53: Les élastiques entraînent une intrusion des dents postérieures, des dents antérieures. (56)

La technique de « Bootstrap » peut être mise en œuvre pour faciliter le mouvement d'égression d'une dent. Pour cela, il est possible d'utiliser l'Encoche et le Poinçon réalisés à l'aide d'une pince Hu-Friedy, qui permettent la fixation d'un bouton sur la surface linguale de la dent, relié à des encoches vestibulaires à l'aide d'un élastique.



Figure 54: La technique BOOTSTRAP. (56)

2.2.3 Correction transversale

L'un des mouvements sur lesquels la recherche s'est concentrée ces dernières années est l'expansion transversale, qui peut être obtenue par une translation vestibulaire des dents postérieures. L'augmentation des dimensions transversales est souvent due à un mouvement de version des dents même si des mouvements de translation on étaient prévus d'où la surévaluation de l'expansion par le set-up.

En effet, lorsqu'il est nécessaire de réaliser une expansion du diamètre transversal avec des mouvements de version en raison d'une inclinaison postérieure excessivement négative, les aligneurs transparents se révèlent être la solution idéale. Cependant, dans la plupart des cas, lorsqu'une expansion par translations est nécessaire, les aligneurs transparents ne suffisent plus. Pour cette raison, l'approche hybride consiste en une phase préalable ou simultanée au traitement avec des

aligneurs, au cours de laquelle un appareil d'expansion palatine rapide avec ou sans minivis est utilisé en fonction de l'âge du patient.

Chez les patients adultes, l'expansion soutenue par des minivis améliore les mouvements de translation.



Figure 55: Expansion transversale (a et b) Les photographies initiales montrent la réduction du diamètre transversal chez un patient adulte; (c et d) début du traitement hybride avec un appareil d'expansion palatine palatin rapide soutenu par des minivis; (e et f) fin de la phase d'expansion et prise d'empreintes pour la phase d'aligneurs; (g et h) phase d'aligneurs transparents; (i et j) phase de peaufinage des aligneurs transparents; (k et l) fin du traitement hybride et retrait du disjoncteur palatin rapide. (51)

2.2.4 Correction sagittale (51) (52) (55) (60)

➤ CLASSE II :

Pour minimiser la perte d'ancrage au cours d'une correction sagittale de Cl II, l'approche hybride consiste à utiliser des élastiques intermaxillaires appliqués sur des arcs sectionnels ou le système Carriere Motion. Dans les cas où une correction sagittale plus importante est nécessaire, cette approche fait appel à des dispositifs d'ancrage temporaires, tels que le pendulum sur des minivis.



Figure 56: Appareil d'expansion palatine rapide et pandulum. (52)



Figure 57: Appareils de distalisation du secteur postérieur. (52)

Horseshoe Jet, Distal Jet et Carriere Motion.

➤ **CLASSE III :**

Il est possible de corriger la malocclusion de Classe III légèrement prononcée en utilisant des élastiques intermaxillaires en association avec des aligneurs transparents. Cependant, cette solution peut ne pas être suffisante dans certains cas.

Ainsi, l'approche hybride est recommandée, avec une phase préliminaire utilisant un appareil d'expansion palatin hybride ou traditionnel combiné avec un masque facial.



Figure 58: Appareils de l'expansion palatine rapide avec des bras pour masque de delaire. (60)

Chapitre V
Analyse
comparative
entre aligneurs
et multi-
attaches

1 La transmission de l'information entre l'appareil et la dent (61)

En orthodontie fixe, il est courant d'utiliser des fils de dimension inférieure à la lumière du bracket, ce qui entraîne une perte d'information dans les trois plans de l'espace, en particulier lorsque le bracket suit l'anatomie dentaire perçue par le praticien lors du collage.

D'autre part, les aligneurs sont fabriqués d'une manière à s'adapter à la surface dentaire et à avoir un contact étroit entre l'intérieur de la gouttière et la dent. Cela permet une transmission complète des informations thérapeutiques aux dents dès le début du traitement.

2 Le Nivellement et la friction (62)

Dans le traitement orthodontique avec des attaches traditionnelles, le fil orthodontique entraîne une friction avec les boîtiers lors des mouvements dentaires. De plus, lorsque des interférences occlusales sont présentes, elles peuvent causer des frictions entre les dents voisines, entraînant des mouvements indésirables ou entravant certains déplacements.

Les aligneurs permettent d'éliminer les étapes de nivellement nécessaires dans les traitements avec attaches traditionnelles. De plus, il n'y a pas de friction entre les boîtiers, les fils et les ligatures. Les forces exercées par les muscles environnants, la pression occlusale et les contacts entre les dents sont réduites et réparties d'une manière plus uniforme sur les arcades dentaires qui sont enveloppées par les aligneurs.

3 L'efficacité des mouvements (62) (63) (64)

L'efficacité des aligneurs dépend de plusieurs facteurs, tels que le type de mouvement à effectuer, l'expérience du praticien et la coopération totale du patient. Ils sont particulièrement efficaces pour les mouvements de version, le nivellement, les intrusions, les rotations légères à modérées des incisives et la fermeture d'espaces sans extraction.

Le système multi-attaches offre la possibilité de réaliser un plus large éventail de mouvements orthodontiques. Il convient aux malocclusions modérées à sévères, bien que ses capacités soient plus limitées par rapport aux aligneurs. Les résultats obtenus avec le système multi-attaches sont généralement plus prévisibles.

4 La durée du traitement (63)

En ce qui concerne la durée du traitement, les résultats de l'analyse de YunyanKe et al ont montré que le traitement avec des aligneurs était plus rapide que le traitement avec des appareils

fixes multi-attaches. Des conclusions similaires ont été rapportées par Zheng et al, soulignant l'avantage significatif des aligneurs en termes de temps passé au fauteuil et de durée totale du traitement par rapport aux appareils fixes. Il est important de noter que toutes les personnes incluses dans l'analyse étaient des cas ne nécessitant pas d'extraction dentaire.

Cependant, pour les cas nécessitant une extraction dentaire, Li et al ont constaté que la durée de traitement avec des aligneurs était 44 % plus longue que celle du traitement avec des appareils fixes.

5 L'hygiène (65)

L'amovibilité des aligneurs facilite l'hygiène bucco-dentaire en permettant de les retirer et avoir accès à toutes les surfaces dentaires et bien les nettoyer contrairement aux appareils multi-attaches qui sont des appareils fixes ; ou les brackets sont collés avec du composite représentent des zones favorables à l'accumulation des débris alimentaires et la rétention de la plaque dentaire.

6 White spots (66) (67)

Des études comparant les patients traités avec des aligneurs à ceux utilisant des appareils multi-attaches ont montré que les patients avec des aligneurs présentent moins de risques de développer des taches blanches sur leurs dents.

Cette diminution de l'incidence des taches blanches chez les patients avec des aligneurs amovibles peut s'expliquer par la durée plus courte du traitement et la possibilité de retirer les aligneurs pour un brossage plus efficace, ce qui permet d'éliminer la plaque dentaire d'une manière plus rigoureuse et de maintenir une meilleure hygiène bucco-dentaire.

Dans les rares cas où des taches blanches déminéralisées ont été observées chez les patients utilisant des aligneurs, elles étaient généralement associées à la présence de la plaque dentaire au niveau des taquets des aligneurs et sur la surface interne des gouttières.



Figure 59: White Spots.

(Source: corleyfamilydental.com)

7 Les résorptions radiculaires (68) (69)

Les résorptions radiculaires sont un effet secondaire fréquent et bien documenté du traitement orthodontique, bien que les facteurs responsables de ce phénomène ne soient pas entièrement compris. Il semble que la résorption soit influencée à la fois par des variations biologiques propres à chaque individu et par les méthodes du traitement utilisées.

Les aligneurs présentent des taux de résorption radiculaire plus faibles par rapport aux appareils fixes multi-attaches, principalement en raison de l'utilisation des forces légères et discontinues. Des études ont montré que l'application des forces légères entraîne moins de résorption que l'application des forces plus importantes, et que l'utilisation des forces intermittentes donne des résultats similaires à l'utilisation des forces continues.

Cependant, il est important de noter que les patients traités avec des aligneurs ne sont pas complètement à l'abri de la résorption radiculaire. Des cas de la résorption radiculaire sévère associée à l'utilisation d'aligneurs ont été rapportés par des chercheurs tels que Brezniak et Wasserstein.



Figure 60: Résorption radiculaire après le traitement multi-attaches.

(Source: European journal of orthodontics)

8 La santé parodontale (70) (71)

Selon une étude menée par Levrini et al, les patients traités avec des aligneurs orthodontiques ont rapporté une meilleure santé parodontale que ceux traités avec des appareils orthodontiques fixes. Les auteurs considèrent que les aligneurs sont la meilleure méthode de traitement pour les patients présentant un risque élevé de développer une maladie parodontale.

Le traitement avec des aligneurs favorise une bonne hygiène bucco-dentaire, ce qui se traduit par une diminution des indices de plaque, de saignement et d'inflammation, conduisant à un parodonte plus sain.

En revanche, les appareils orthodontiques multi-attaches créent des zones de rétention de la plaque dentaire et entravent les efforts d'hygiène buccale, augmentant ainsi le risque d'inflammation gingivale et de la maladie parodontale. En comparaison, les aligneurs permettent un meilleur contrôle de l'hygiène bucco-dentaire, contribuant ainsi à améliorer la santé parodontale chez les patients à risque.

9 La perception de la douleur (72)

Pendant un traitement orthodontique, il est courant de ressentir quelques douleurs au cours des 48 premières heures suivant l'application de la force. Cela est dû à la mobilité des dents sur l'arcade, ce qui entraîne une compression du ligament parodontal, provoquant une ischémie et un œdème, ainsi que la libération de médiateurs inflammatoires. L'intensité de cette douleur peut varier d'une personne à une autre et dépend également du type d'appareillage orthodontique utilisé.

Des études ont montré que les patients traités avec des gouttières orthodontiques ressentent généralement moins de douleur que ceux avec des brackets. Cela peut s'expliquer par les forces discontinues générées par les aligneurs, qui permettent aux tissus de se réorganiser avant que de nouvelles forces de compression ne soient appliquées. Cette approche progressive peut contribuer à réduire la sensation de douleur pendant le traitement avec des aligneurs.

10 La contention post-chirurgicale et la récurrence (64) (73)

En 2016, Robitaille a mené une étude comparative visant à évaluer la qualité du traitement combinant l'orthodontie et la chirurgie orthognatique avec des gouttières, par rapport à la méthode traditionnelle multi-attache. Les résultats ont montré que l'alignement des dents et les contacts occlusaux étaient plus précis avec les brackets. Cependant, les aligneurs permettaient un traitement plus rapide que la thérapeutique fixe multi-attache.

Dans les cas de la chirurgie orthognatique traités avec des aligneurs, il a été observé que la cicatrisation de la plaie chirurgicale était plus rapide qu'avec les dispositifs fixes. Cela pourrait s'expliquer par une meilleure hygiène buccale facilitée par l'utilisation des aligneurs. De plus, les matériaux utilisés pour fabriquer les gouttières présentent un effet piézoélectrique qui peut aider à la cicatrisation des tissus, mais cette propriété nécessite une validation supplémentaire par des recherches futures sur les biomatériaux utilisés.

Concernant la récurrence, une étude comparative menée par Kuncio en 2007 a révélé un taux de récurrence plus élevé pour les traitements par aligneurs, même lorsque des dispositifs de contention similaires étaient utilisés. Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer cela :

- L'inocclusion postérieure obtenue en fin de traitement avec des aligneurs peut être la source d'instabilité en raison du manque d'engrènement des dents.
- Le changement des gouttières toutes les deux semaines peut être trop court pour permettre une régénération osseuse et ligamentaire adéquate, entraînant ainsi une récurrence plus importante par rapport à la thérapeutique fixe multi-attache, où les activations sont effectuées toutes les quatre à six semaines.

Chapitre VI
Planification
d'un traitement
par aligneurs

1 Introduction

En orthopédie dento-faciale (ODF), le processus diagnostique est complexe en raison de l'évolution des dysmorphoses qui sont liées à la croissance faciale.

Un diagnostic précis est essentiel pour offrir un traitement orthodontique adéquat, que ce soit par l'utilisation d'un appareillage multi-attaches ou d'aligneurs.

Afin d'obtenir un diagnostic orthodontique à la fois esthétique et fonctionnel, il est essentiel de suivre cet algorithme

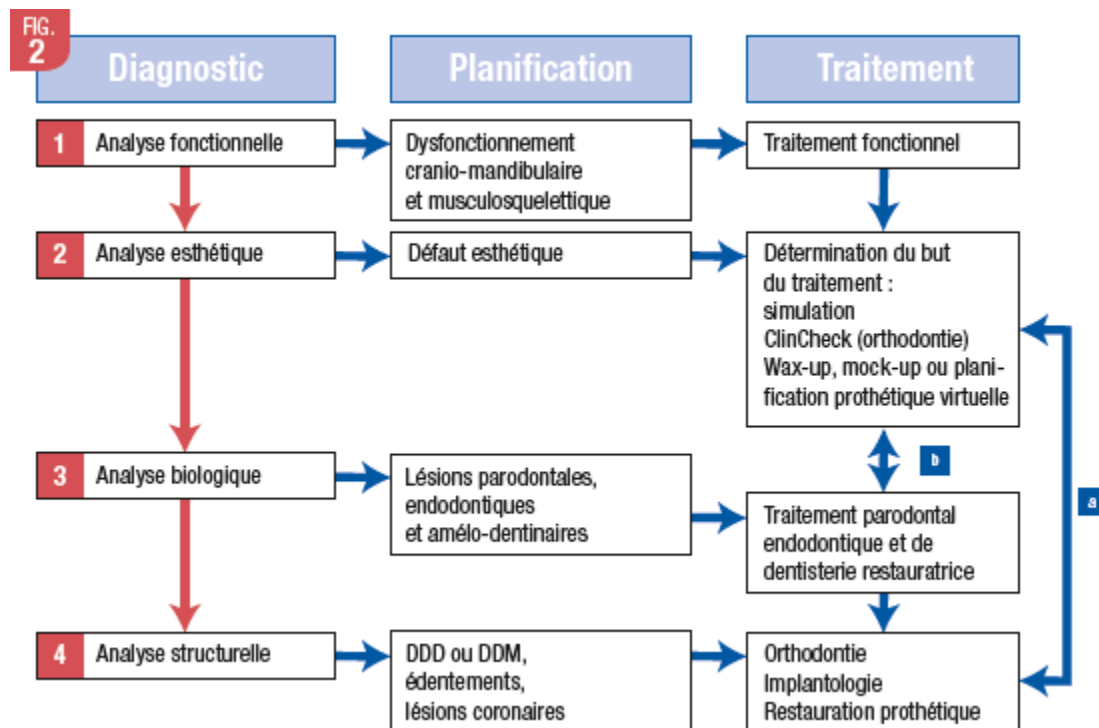


Figure 61: L'algorithme de diagnostic. (78)

a : Traitement parodontal, endodontique et de dentisterie restauratrice non requis.

b : Détermination des objectifs de traitement en cas de traitements parodontal, endodontique et de dentisterie restauratrice requis.

2 Démarche diagnostic(17)(23)

La réussite du traitement en orthopédie dento-faciale, repose sur des facteurs essentiels tels que la qualité et la précision du diagnostic. Cela implique la réalisation d'un examen clinique systématique et l'analyse rigoureuse des examens complémentaires.

2.1 Anamnèse et interrogatoire

C'est un volet essentiel de la première consultation, il permet d'acquérir des connaissances générales du patient : l'état civil, le motif de consultation, les indicateurs de développement psycho affectifs, la motivation du patient, les antécédents, orthodontiques, héréditaires, médicaux, et les pathologies générales associées. Ces dernières informations sont importantes à les chercher, car elles permettent de détecter d'éventuelles maladies systémiques sous-jacentes qui pourraient affecter notre décision en termes de planification du traitement pour le patient. Par exemple, si le patient prend des corticoïdes pour des allergies ou de l'asthme ou pour une autre pathologie, l'orthodontiste doit être conscient que les corticoïdes affectent le remodelage osseux et donc le déplacement orthodontique, est étroitement lié à la durée de ce traitement.

2.2 Examen clinique morphologique

2.2.1 Examen exo-buccal

- **La face :**

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 houppe du menton, le sillon naso-génien et le sillon labio-
- Mentonnier.

- **De profile :**

Le patient est installé sur le fauteuil dans une position orthogonale, les yeux fixés sur l'horizon. Si besoin, la tête peut être maintenue pour obtenir une orientation adéquate (environ selon le plan de Francfort cutané).

Cet examen permet d'évaluer le développement antéropostérieur et l'équilibre vertical du visage.

2.2.2 Examen endo-buccal

Cet examen permet d'évaluer la forme des bases osseuses et des arcades alvéolaires, les relations occlusales dans les trois dimensions de l'espace, ainsi que les différents problèmes dentaires.

Lors de la première observation en effectuant cet examen, le praticien peut évaluer l'état de santé buccale du patient, notamment en termes d'hygiène, de caries, de parodontite et de sévérité de la malocclusion. Cette première impression peut donner des informations sur la motivation du patient et de ses parents pour leur santé buccodentaire, et permettre de détecter certaines lésions buccales.

Pour améliorer le diagnostic, il est possible de recourir à une innovation telle que la caméra intra-orale Soprocare. Cette dernière utilise deux modes de lumière fluorescente qui permettent de détecter les lésions carieuses et les inflammations des tissus mous.



Figure 62: La caméra Soprocare®.

En plus d'un système optique puissant de cette camera, qui fournit un rendu visuel de grande qualité, ses modes CARIO et PERIO sont une véritable aide au diagnostique. En utilisant la fluorescence, le mode PERIO va mettre en évidence la présence du tartre, plaque dentaire, inflammation gingivale. Et le mode CARIO permettra de détecter les caries dentaires dès son stade précoce. En fait la caméra émet une longueur d'onde située entre 440 et 680 nm pour illuminer les tissus dentaires. Les tissus excités absorbent cette énergie et la renvoient sous forme de lumière fluorescente. Cette technique permet de superposer l'image anatomique naturelle avec l'image obtenue et ainsi mettre en évidence les nuances de chaque tissu, habituellement invisibles sous la lumière blanche.

2.3 Examen occluso-fonctionnel

Cet examen consiste à examiner les fonctions de base telles que la déglutition, la respiration, la phonation et la mastication, en cherchant les raisons éventuelles de troubles ventilatoires en cas d'une respiration buccale chez l'adulte. Des recherches seront également menées sur les éventuels troubles de l'élocution et de la déglutition, sachant que la langue joue un rôle crucial dans ces fonctions, et sa rééducation pourrait être nécessaire. Les autres tissus mous tels que la musculature, le tonus labial, les végétations et les amygdales seront également analysés. Pour détecter une éventuelle dysfonction de l'articulation temporo-mandibulaire ou des troubles occlusaux, un diagnostic dynamique et occluso-fonctionnel sera réalisé, en évaluant la relation centrée et l'intercuspidie maximale, ainsi que le chemin d'ouverture et de fermeture. L'examen fonctionnel comprend l'inspection et la palpation des muscles et de l'articulation temporo-mandibulaire, ainsi que l'évaluation de sa mobilité.

2.4 Les examens complémentaires

Les examens complémentaires jouent un rôle crucial dans l'établissement d'un diagnostic précis, mais ils sont encore plus essentiels lorsqu'il s'agit d'un traitement orthodontique par aligneurs, notamment la qualité des empreintes et des moulages obtenus lors de ces examens est directement liée à la précision de la fabrication des gouttières aligneurs.

2.4.1 La photographie (74-77)

La photographie numérique est devenue omniprésente dans la pratique orthodontique quotidienne grâce à sa rapidité et à la multitude de ses utilisations, faisant d'elle l'un des principaux outils de communication actuels, elle facilite le partage de données et est un excellent support pédagogique pour les comparaisons ultérieures. Et le bilan photographique demeure un examen complémentaire essentiel dans l'aide au diagnostic.

Toutefois, afin d'obtenir un dossier photographique de qualité reproductible, il est important de suivre un certain nombre de règles, à la fois liées à la technique de prise de vue et à notre façon de travailler. Il comprend :

2.4.1.1 Les photographies exo-buccales

Ils sont au nombre de quatre ; de FACE l'horizontale est donnée par la ligne bipupillaire, de PROFIL la tête est inclinée selon le plan de francfort, et du SOURIRE (de profile, de trois quart). Ainsi que cette dernière, souvent prise en trois-quarts. Cependant, l'utilisation d'une photographie du sourire de profil, qui est couramment effectuée par les chirurgiens, est de plus en plus courante. Elle devrait également être incluse dans ce bilan photographique.

Les cheveux doivent être attachés pour visualiser les repères auriculaires. La distance focale de l'objectif doit être proche de 100 mm afin de limiter les distorsions. Le patient doit être placé à 1 m d'un fond non réfléchissant de couleur bleu roi, gris clair ou noir.



Figure 63: Vue de face, de profil, et de sourire. (74)

2.4.1.2 Les photographies intra-buccales

Trois types de vues sont généralement effectuées en intra-buccales : FRONTALES ou le cadrage est assuré par la surface inter-incisive maxillaire (verticale) et le plan d'occlusion (horizontale), LATERALES le cadrage est assuré par le plan d'occlusion (horizontale), la canine maxillaire devant approximativement être située au centre de la photographie, et elles sont complétées par les vues OCCLUSALES , Un miroir occlusal préchauffé (eau chaude) est requis pour ces vues, le cadrage est assuré par le raphé médian au niveau maxillaire et par le frein lingual au niveau mandibulaire.



Figure 64: La vue latérale, la vue frontale. (74)



Figure 65: La vue occlusale. (74)

2.4.2 Les modèles d'études dentaires (plâtre ou numérique)

Le modèle d'étude peut être obtenu à partir d'une empreinte d'alginat, ou P.V.S, ou à partir d'une tomographie volumique à faisceau conique (CBCT). C'est un outil fiable qui sert de base à de nombreuses analyses. Il permet une observation précise des relations occlusales, notamment de la vue linguale. Il permet également une évaluation quantitative et objective des paramètres occlusaux et dentaires essentiels à l'élaboration d'un plan de traitement (dimension des dents, formes et dimensions d'arcades, décalages divers, prévision de la taille et de la position des dents définitives...).

2.4.2.1 Les empreintes (17)(79)

Les produits utilisés pour la prise de ces empreintes sont l'alginat et le PolyVinylSiloxanes (P.V.S.), ce dernier est privilégié pour sa précision et sa stabilité dimensionnelle. Les techniques qui sont recommandées sont :

- La Wash-technique (la prise en deux temps) : La porte empreinte est garnie de matériau lourd que l'on recouvre à l'aide d'un film plastique étirable. Après désinsertion, le film est retiré délicatement et les excès seront éliminés pour éviter une forte compression.

Par la suite le matériau léger (light) est injecté et le porte empreinte est réinséré en bouche

- La double mélange (la prise en un seul temps) : Tandis que le praticien applique le light en bouche à l'aide d'une seringue, l'assistante réalise le mélange de putty.

2.4.2.2 La prise d'occlusion

Les cires d'occlusion ne sont pas recommandées. L'enregistrement de l'occlusion se fait avec des Polyvinyl Siloxanes, il doit être complet englobant toute l'arcade.

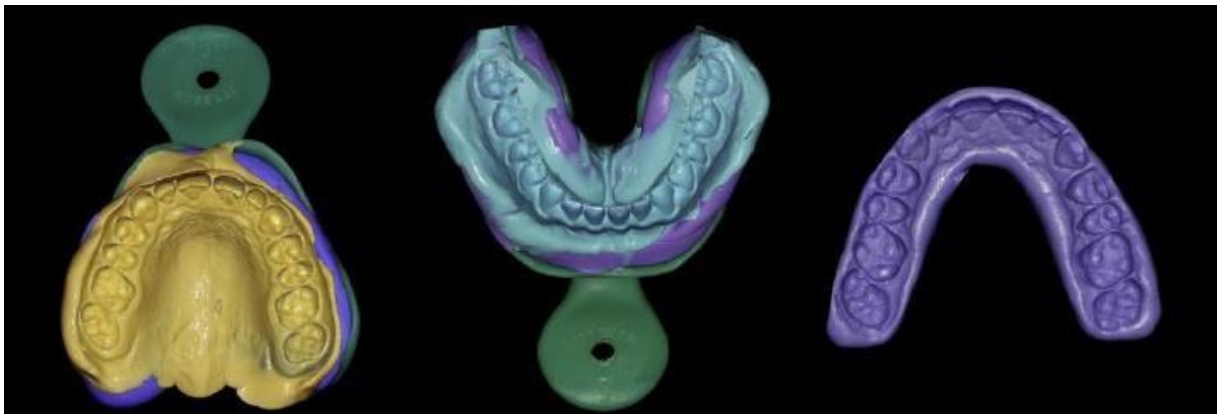


Figure 66: Empreinte maxillaire, empreinte mandibulaire, enregistrement d'occlusion.
(17)

2.4.2.3 Les critères d'une empreinte non réussie

- Silicone arraché en raison d'une mauvaise insertion du porte-empreinte ou d'un décalage de la polymérisation des matériaux lourds et légers.
- Bulles d'air ou vides.
- Un matériau d'empreinte insuffisant.
- Mauvaise adhérence du matériau PVS au porte-empreinte.
- Contact des dents avec le porte-empreinte.

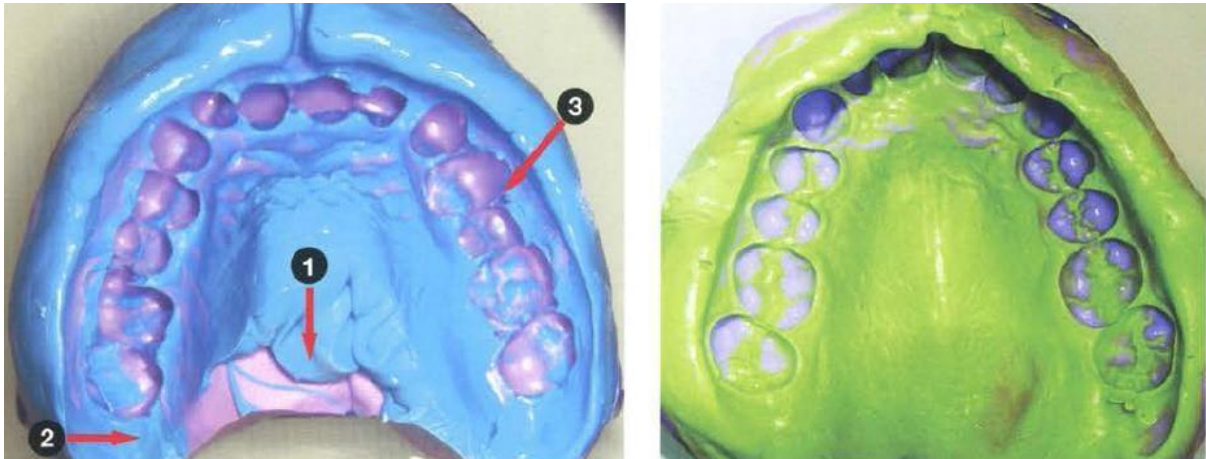


Figure 67: Empreinte avec des défauts, empreinte ne présente pas des défauts. (17)

2.4.2.4 L'empreinte optique et la visualisation des modèles (80)

Le numérique s'impose chaque jour un peu plus dans tous les métiers, y compris l'orthodontie. Les solutions d'études de moulages numériques deviennent des Produits matures et laissent penser que l'étude de cas se fera, de plus en plus, à l'écran.

De la prise d'empreintes au plan de traitement, de plus en plus d'étapes sont donc numériques ou numérisables. En outre, la chaîne numérique prothétique n'est pas une nouveauté en orthodontie : depuis longtemps, de nombreux laboratoires ont intégré, au moins partiellement, la conception digitale des appareillages. Cette conception fabrication assistée par ordinateur (CFA) s'effectuait à partir de moulages traditionnels en plâtre scannes :

L'image ainsi numérisée servait de base pour la réalisation de setups en orthodontie linguale et vestibulaire, le design d'attaches coulées, le collage indirect d'attaches vestibulaires.

Maintenant que cette technologie 3D est accessible directement au fauteuil.

L'aide à l'analyse, et à la conception du traitement est grandement facilitée par les techniques les plus récentes proposées par les logiciels tels 3Shape (classification des malocclusions, mise en évidence de dysmorphoses, mise en place des objectifs de traitements, etc.). Non seulement l'étude globale est possible, mais aussi les mesures ou analyses traditionnelles, allant jusqu'aux Setups associés aux options de traitements, grâce, entre autres, à la segmentation directe à l'écran.

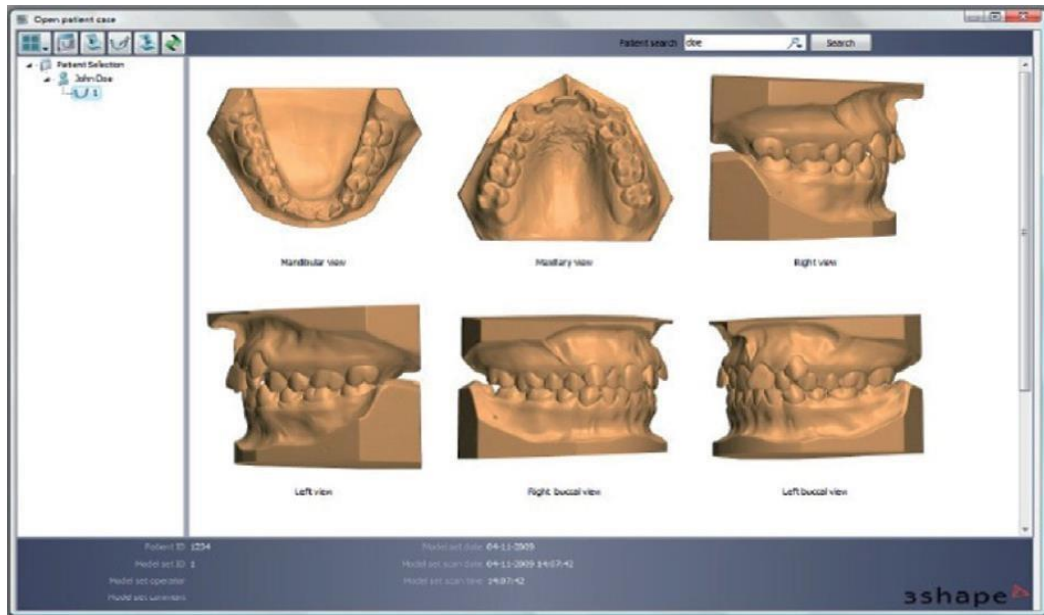


Figure 68: Visualisation simultanée des diverses incidences (source3Shape).

2.4.2.4.1 Empreinte optique directe

Une empreinte optique est réalisée d'une façon directe à l'aide d'une caméra ou un scanner intra-oral. L'acquisition des arcades dentaires au fauteuil par ces caméras est récente en orthodontie, mais elle est ancienne en omnipratique depuis le début des années 1980 pour la production des couronnes dentaires au cabinet, inventé par un professeur français FRANCOIS DURET.

Le marché des empreintes optiques est en constante évolution, rendant difficile la mention de toutes les caméras actuellement disponibles sur le marché, les plus répandus ces dernières années sont :

- Trios3R et Trios4R de 3Shape.
- iTero Element2R et iTero Element5DR de Align Technology.
- True DefinitionR de 3M.
- CS3600R et CS3700R de CareStream .
- MEDIT i500R de MEDIT.
- CondorScanR de Biotech.
- EmeraldR de Planmeca.
- LythosR de Ormco.

Le système de prise d'empreinte quant à lui nécessite un ordinateur, un logiciel, et une pièce à main (caméra). Cette dernière constituée d'un embout qui sert à l'acquisition.

La taille de ces embouts est un élément très important en orthodontie, car nos patients peuvent être jeunes, présentent une ouverture buccale plus ou moins grande, et une formule dentaire plus ou moins complète à numériser. Il faudra donc être vigilant sur les dimensions de l'embout: sa largeur permet l'acquisition d'une plus grande surface à chaque image, par contre la hauteur limitera l'insertion de l'embout en bouche dans les zones molaires.

Cette prise d'empreinte est une numérisation optique sans contact des surfaces dentaires et des tissus mous adjacents par balayage d'un faisceau lumineux. Les technologies des ces cameras varient sensiblement les unes par rapport aux autres, et l'acquisition des points se fait soit par triangulation, soit par projection de franges de lumière, soit par imagerie parallèle confocale, soit par vidéo stereophotogrammetrique.

- **La triangulation :**

Ce principe d'acquisition est utilisé par la gamme *Cerec Omnicam* de *Densply Sirona* et les cameras de *Carestream*. Le système se compose d'un faisceau laser balayant la surface à capturer, d'un récepteur, et d'une camera numérique qui analyse la distorsion du faisceau, laser réfléchi par la surface enregistrée.

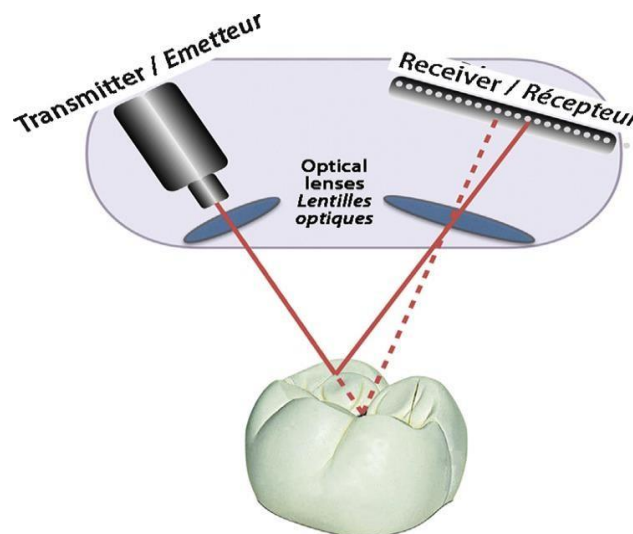


Figure 69: Triangulation laser.(80)

- **La projection de frange de lumière (AFI) :**

Ce principe d'acquisition est utilisé par la gamme *Lythos* de *Ormco*. Le scanner projette des franges de lumière à l'aide de filtres qui sont déformées sur les surfaces enregistrées en fonction du relief. Le récepteur, une camera haute définition, enregistre la déformation des rayons lumineux réfléchis. Le calcul des distances est réalisé au moyen d'une technique similaire à la triangulation.

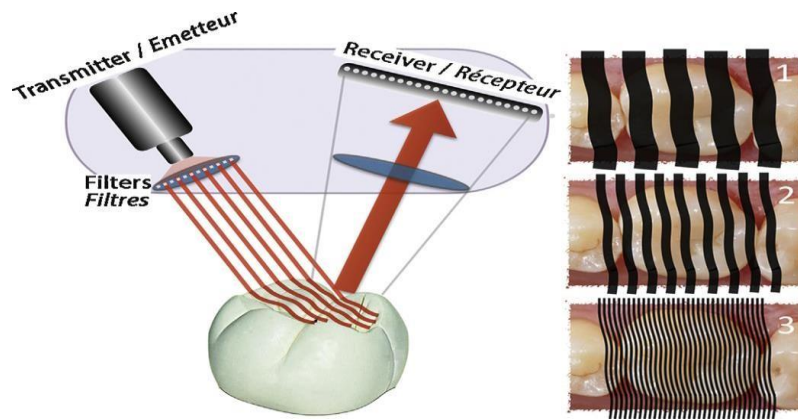


Figure 70: La projection de frange de lumière. (80)

- **Imagerie parallèle confocale :**

Ce principe d'acquisition est utilisé par la gamme *Trios* de *3Shape* et *iTero* de *AlignTechnology*. Il repose sur la projection de lumière laser à travers un petit trou de filtrage (appelé sténopé) vers la surface cible. Le récepteur est lui-même équipé d'un sténopé qui ne laisse passer que la lumière réfléchiée par la surface d'intérêt à enregistrer, ainsi que les seuls points nets qui sont enregistrés, ce qui optimise la précision de l'empreinte. La reconstruction de l'image se fait en utilisant le principe de la tomographie, les milliers de tranches de données sont assemblées pour recréer l'image tridimensionnelle complète. On appelle cela la « point-and-stitch reconstruction ».

L'avantage majeur de cette technique est que les faisceaux incidents et réfléchis sont colinéaires et empruntent la même trajectoire linéaire. Cela permet de mesurer des angles prononcés jusqu'à 85° et des cavités ou reliefs profonds, ce qui n'est pas possible lorsque la source et le récepteur sont décalés comme en technique par triangulation ou AFI.

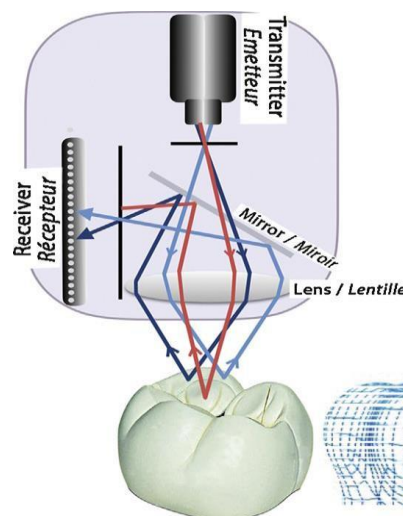


Figure 71: L'imagerie parallèle focale. (80)

- **Vidéo stéréophotogrammétrique:**

Ce principe d'acquisition est utilisé par la gamme *True Definition* de 3M et repose sur le principe de la vision binoculaire. Deux ou plusieurs caméras vidéo haute définition vont capter des vues précises simultanées mais avec un point de vue différent. Les coordonnées tridimensionnelles sont déterminées en utilisant au moins deux perspectives différentes.

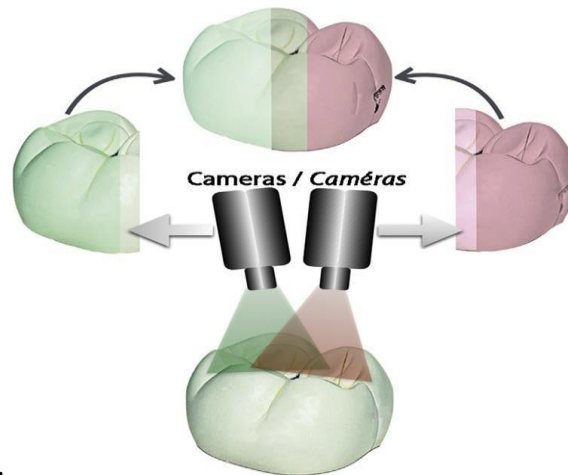


Figure 72: La vidéo stéréophotogrammétrique. (80)

Trois étapes sont nécessaires à l'acquisition complète de l'empreinte : l'enregistrement de l'arcade inférieure, puis celui de l'arcade supérieure et enfin celui des mordus droit et gauche. Pour l'enregistrement des arcades, un survol de l'intégralité des surfaces dentaires doit être effectué avec la caméra selon un parcours précis pour permettre un gain de temps.

A la mandibule :

- Enregistrement des surfaces occlusales.
- Enregistrement des surfaces linguales.
- Enregistrement des surfaces vestibulaires.

Au maxillaire :

- Enregistrement des surfaces occlusales.
- Enregistrement des surfaces vestibulaires.
- Enregistrement des surfaces palatines et du palais si nécessaire.

Ces empreintes numériques vont créer un flux numérique d'informations qui va transiter au sein du cabinet et vers les laboratoires partenaires de manière totalement dématérialisée jusqu'à la fabrication et la réception du produit final.

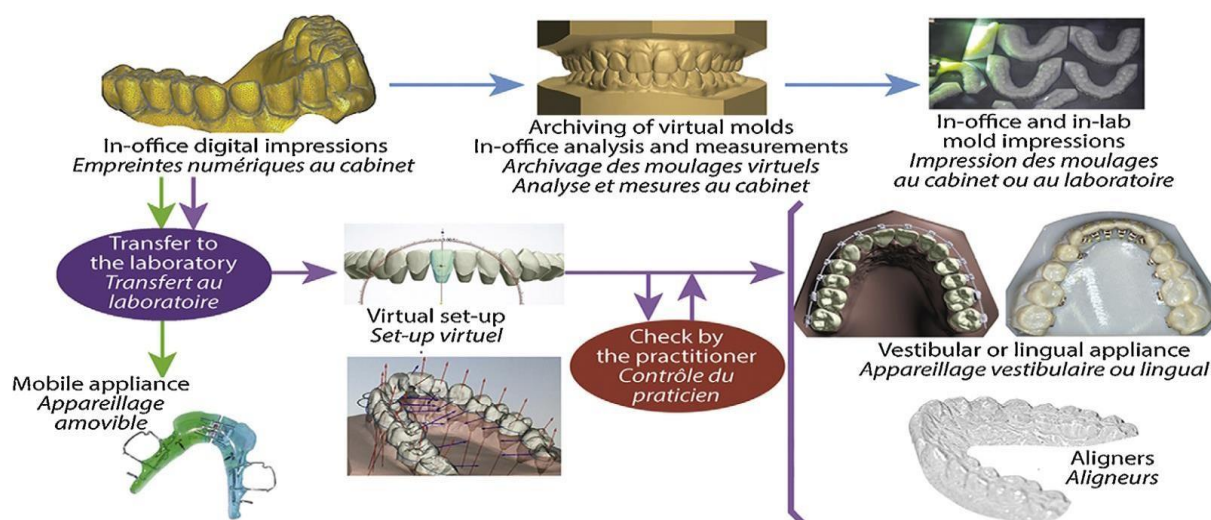


Figure 73: Le flux numérique. (80)

2.4.2.4.2 Numérisation d'un moulage physique ou d'une empreinte

C'est le contexte indirecte qui est utilisé pour l'obtention un modèle d'étude numérique virtuel, tridimensionnel, soclé, et exportable sous form : *.stl* ou *.dicom* (Digital Imaging and Médical Communications). Ce processus commence par la prise d'empreinte physique avec PVS ou l'alginat. Ce modèle numérique, peut être obtenu directement à partir de ces empreintes physiques qui sont positionnées dans le scanner pour les numérisées, le logiciel reconstituera directement un modèle positif numérique, ou à partir d'un modèle coulé en plâtre. D'autre part, il existe deux technologies pour la numérisation :

- **La numérisation optique par triangulation :**

Dans cette technique, le laser balaye la surface du modèle ou de l'empreinte, la réfraction du rayon laser est analysée par des capteurs, ensuite une triangulation est appliquée puis l'algorithme recrée la surface 3D de l'élément scanné, à l'image du scanner *R700 de 3Shape*.

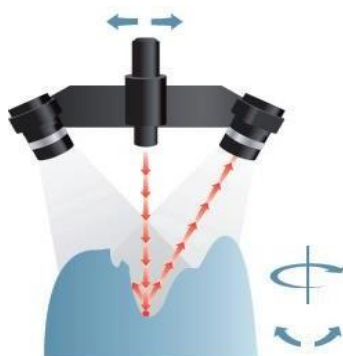


Figure 74: Scanner R700. (80)

- **La numérisation tactile :**

C'est une ancienne technique qui était utilisée par les premiers scanners pour numériser les modèles en plâtre, en employant des palpeurs qui balayent la surface à numériser.

Dans une étude, d'ABIZADEH et AL. Ou ils ont comparé les mesures effectuées sur un modèle en plâtre à l'aide d'un pied à coulisse numérique avec les mesures numériques obtenues à partir d'un modèle virtuel créé à partir d'une numérisation 3D du même moule en plâtre à l'aide d'un scanner laser *R250® de 3Shape*. En ce qui concerne la reproductibilité des mesures, ils ont constaté des différences statistiquement significatives entre les deux méthodes pour 8 des 16 mesures effectuées, les mesures sur le modèle en plâtre étant apparemment plus reproductibles que celles sur le modèle numérique. En ce qui concerne la précision des mesures, ils ont également observé des différences significatives entre les mesures physiques et numériques, mais ces erreurs systématiques sont très faibles (environ 0,14 mm, par exemple, pour la mesure de la distance intercanine maxillaire) et n'ont donc aucune pertinence clinique. Ils en concluent donc que les modèles numériques peuvent être utilisés cliniquement pour effectuer des mesures à des fins de diagnostic

2.4.3 Les examens radiologiques (17)(81)(82)

Les techniques radiographiques traditionnelles utilisées dans le diagnostic et la planification du traitement orthodontique comprennent la radiographie panoramique, la céphalométrie latérale, la radiographie périapicale complète, la postéro-céphalométrie et parfois la tomographie. Cependant, des études récentes ainsi que des présentations et discussions ont montré la faisabilité de réaliser une seule radiographie (CBCT) qui peut fournir toutes ces vues avec une exposition aux radiations similaire ou inférieure et produire une imagerie plus fiable pour le diagnostic et la planification du traitement orthodontique .

En particulier, la largeur de l'os alvéolaire est très difficile à estimer à partir des radiographies céphalométriques de profil. Cette largeur est extrêmement importante, en particulier si nous planifions un mouvement dentaire antéropostérieur ou horizontal important.

Un exemple est montré ci-dessous, qui montre que la largeur de la symphyse mesurée à partir d'une radiographie céphalométrique latérale est adéquate pour le mouvement vestibulo-lingual des incisives, cependant, la véritable largeur alvéolaire (vestibulo-linguale) est presque la moitié de celle visible sur la radiographie céphalométrique latérale. Seuls les écrans sagittaux

qui sont générés à partir de la tomographie volumique numérisée à faisceau Conique (CBCT) qui permettent une estimation précise de la hauteur, et la largeur de l'os alvéolaire (c).

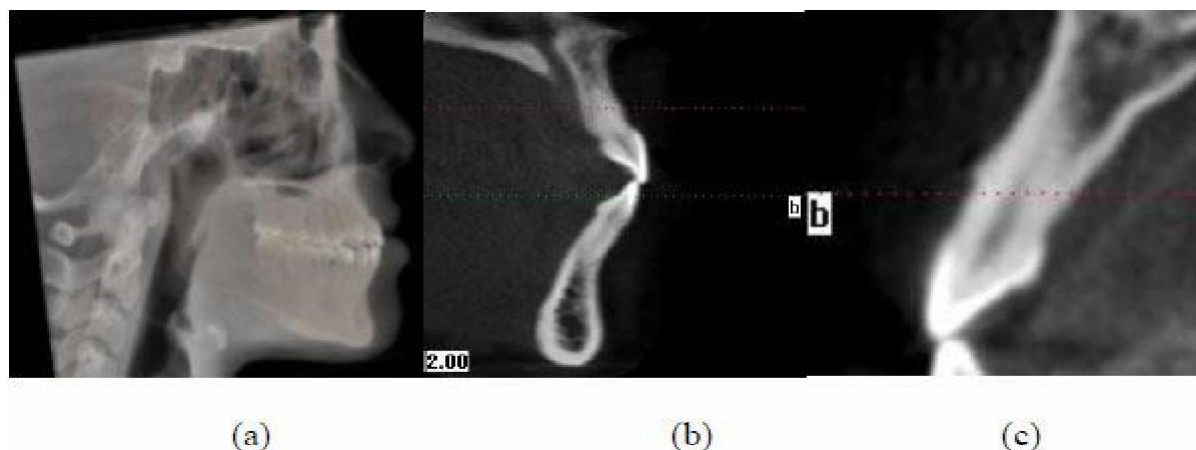


Figure 75: Une radiographie céphalométrique latérale(a), image sagittale de la CBCT(b), (c).

Une autre projection d'image diagnostique importante pouvant être obtenue à partir de la CBCT est la tomographie de l'articulation temporo-mandibulaire (ATM). Chaque fois qu'un décalage fonctionnel clinique de la mandibule inférieure (latéral, antérieur ou postérieur) est détecté, il doit être documenté radiographiquement afin de diagnostiquer et de traiter correctement de tels cas. Cette tomographie de l'ATM n'est pas importante seulement pour le diagnostic et la documentation du décalage fonctionnel, s'il est suspecté lors de l'examen clinique des patients, mais elle est également importante pour documenter les prédictions de croissance mandibulaire chez les patients en croissance qui peuvent être traités avec des aligneurs transparents.

En outre, selon BJORK, l'une des principales variables pour déterminer la direction de croissance antérieure ou postérieure de la mandibule est la forme et la direction des têtes condyliennes mandibulaires. Cependant, aucune des radiographies traditionnelles (radiographies céphalométriques latérales et panoramiques) ne peut fournir une estimation précise de la direction de croissance mandibulaire en se basant sur la forme des condyles mandibulaires(A), en revanche les tomogrammes confirment la tendance à la croissance mandibulaire(B).

Pour conclure, L'informations nécessaires au diagnostic et à la réalisation d'un plan de traitement serait ainsi plus exhaustive en CBCT.

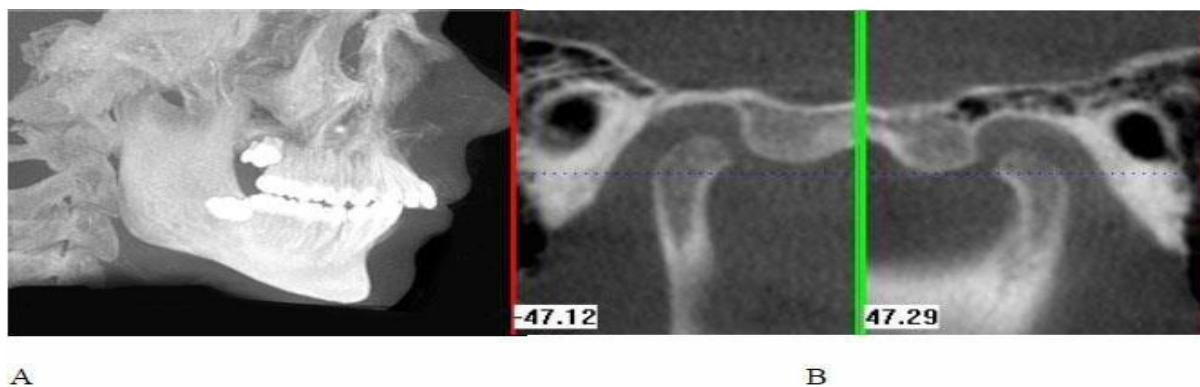


Figure 76: La céphalométrie latérale(A), une image sagittale de la CBCT(B).

2.5 Synthèse diagnostique et objectifs du traitement

En utilisant les informations collectées lors de l'examen clinique et des examens complémentaires, le médecin peut formuler un résumé diagnostique englobant des diagnostics esthétiques, fonctionnels, dento-parodontaux, alvéolaires et squelettiques dans les trois dimensions de l'espace. Ces diagnostics conduiront à l'établissement d'objectifs de traitement qui guideront le médecin dans l'élaboration d'un plan de traitement.

3 Plan de traitement (7)(83)(84)

Une fois que la synthèse diagnostique a été réalisée et les objectifs de traitement ont été définis, le praticien élabore un plan de traitement en tenant compte du motif de consultation du patient. Le praticien doit présenter au patient toutes les options orthodontiques envisageables pour son cas. Si les aligneurs orthodontiques sont indiqués, le praticien crée un dossier pour le patient sur la plateforme de la société avec laquelle il est certifié.

3.1 Prise de contact avec la société de fabrication

Chaque entreprise dispose d'une plateforme en ligne destinée à recevoir les dossiers des patients qui souhaitent bénéficier d'un traitement par aligneurs orthodontiques.

Cette plateforme comprend des sections dédiées à chaque élément du dossier orthodontique, tels que l'anamnèse, les examens cliniques, les photographies, les scans des empreintes et les radiographies. De plus, elle propose des espaces de communication pour faciliter les échanges entre le praticien qui prescrit les aligneurs et les techniciens spécialisés.

Nous prendrons comme exemple de charte et de modalités de prescription le système Invisalign® :

La première charte concerne l'anamnèse et l'examen clinique du patient .Le praticien est invité à remplir la charte de prescription thérapeutique) qui comprend différents champs.

Ces champs sont complétés en cochant des cases ou en ajoutant des commentaires. Ils serviront de source d'informations pour les techniciens chargés de réaliser le setup, notamment:

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

Il est important que les choix des options de traitement soient clairement définis. Ils découlent d'un diagnostic précis et des objectifs de traitement établis. Le praticien prescripteur est le seul responsable de son traitement et de ses choix thérapeutiques .

Ensuite, les chartes des examens complémentaires sont présentées. AlignTechnology® demande neuf photographies spécifiques : une photographie du visage au repos, une photographie du visage avec un sourire, une photographie de profil, des photographies de l'occlusion droite et gauche, une photographie de l'occlusion frontale, une photographie de l'arcade supérieure (avec miroir) et une photographie de l'arcade inférieure (avec miroir) .Les radiographies doivent également être envoyées.

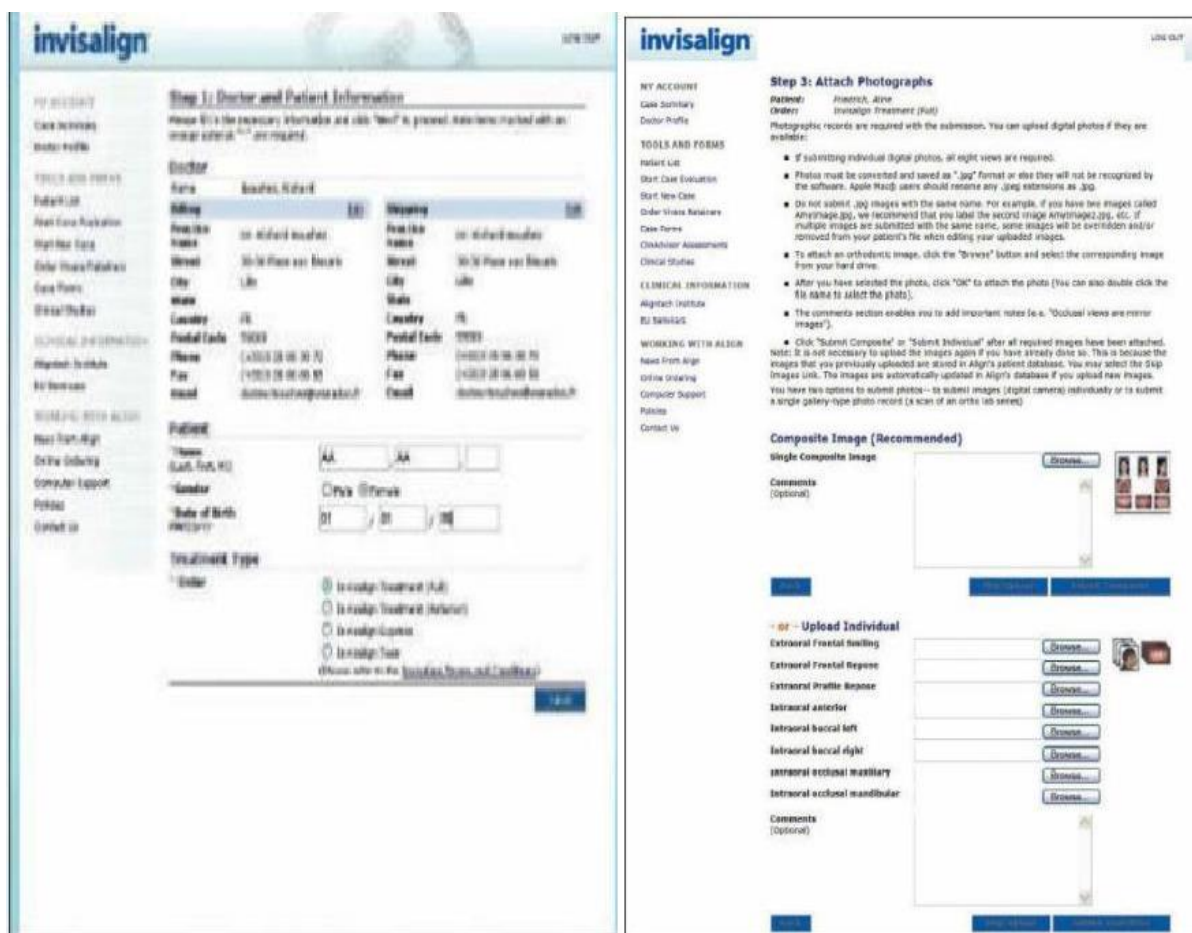


Figure 77: Invisalign charts .

Source : Invisalign

3.2 Le set up virtuel

Le "setup" est un logiciel utilisé pour visualiser les différentes étapes du traitement orthodontique jusqu'au résultat final, en créant une modélisation en 3D et en animant les mouvements dentaires. Son objectif est de permettre au praticien de choisir la solution thérapeutique la plus adaptée et d'obtenir une durée de traitement aussi courte que possible, en fonction de la situation clinique à traiter.

À partir des empreintes dentaires scannées par rayons X ou par des scanners optiques, la société de fabrication crée un modèle virtuel final en suivant les indications du praticien. Les différentes unités dentaires et alvéolaires sont séparées individuellement et réintégrées dans le modèle de travail (Figure 80). Une reproduction virtuelle de l'axe, de la position, des points de contact dentaires et de la situation de la gencive est réalisée. C'est à ce stade que le plan de traitement est appliqué et que les mouvements dentaires sont programmés séquentiellement par le logiciel.

3.3 La réception du set up et validation du ClinCheck® par le praticien

La simulation du traitement est ensuite envoyée électroniquement au praticien pour un contrôle de la qualité finale à l'aide du ClinCheck®. Ce dernier est un logiciel qui permet au praticien de choisir la solution thérapeutique la plus appropriée à la situation clinique, par exemple en décidant s'il faut procéder à des extractions ou non. Un examen attentif de la simulation est essentiel pour obtenir le meilleur résultat final possible, tout en respectant l'occlusion statique et dynamique du patient, l'os et le parodonte, ainsi que les objectifs esthétiques.

Afin de valider le ClinCheck®, le praticien doit examiner les points suivants :

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

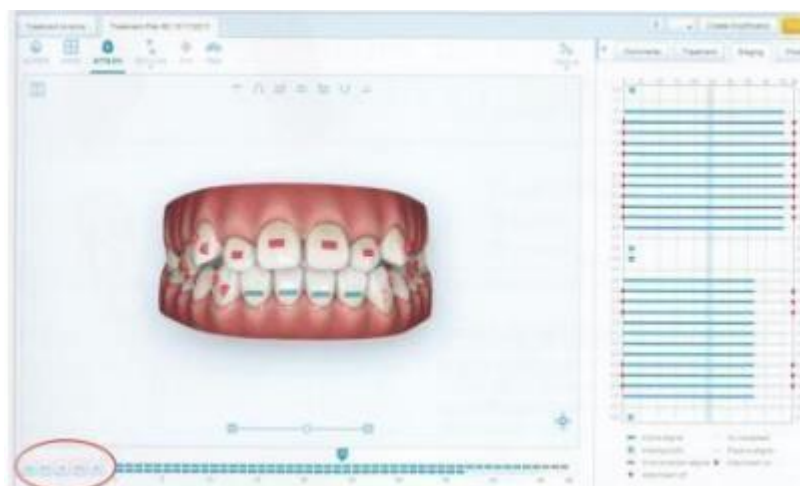


Figure 78: Visualisation des étapes temps par temps sur un ClinCheck®.

Grâce au logiciel et au setup de diagnostic, il est possible d'explorer plusieurs options de traitement pour chaque patient. Chaque option peut être évaluée en termes de durée du traitement, de complexité des mouvements dentaires et de résultat final attendu.

Le set up modifié par le praticien est ensuite exposé au patient pour avoir son consentement éclairé.

Une fois approuvé par ce dernier le praticien valide plan de traitement et l'envoi au technicien pour débiter alors la fabrication des gouttières qui seront expédiées au cabinet par la suite .

3.4 Fabrication des gouttières

En ce qui concerne Invisalign®, une fois que le praticien a approuvé le set-up informatique (ClinCheck), chaque étape du traitement est convertie en un modèle physique en résine par stéréolithographie à l'aide d'un appareil appelé "stéréolithographie apparatus" (SLA).

Les aligneurs, qui étaient initialement fabriqués par thermoformage à l'aide d'une machine de moulage sous pression "Biostar pressure molding machine" sont maintenant produits dans un automate «automated aligner-forming system ». Ils sont ensuite marqués au laser à travers le polycarbonate. Le tout est ensuite acheminé par un robot vers une machine automatique de découpe des aligneurs "Automated Aligner cutter", qui découpe l'aligneur et le sépare du modèle en moins de 30 secondes. Ensuite, l'aligneur est poli, nettoyé, désinfecté et emballé sous blister en vue de son expédition au cabinet du praticien.



Figure 79: Automated aligner-forming system



Figure 80: Automated aligner cutter.

3.5 Réception et livraison des aligneurs

Une fois que les aligneurs sont reçus, il est essentiel que le praticien s'assure de la coopération et de la motivation du patient afin d'assurer le bon déroulement du traitement. Il est important d'expliquer clairement au patient la nécessité de respecter la durée du traitement, même si ses préoccupations esthétiques sont satisfaites. En effet, l'interruption du port des aligneurs peut compromettre les objectifs esthétiques et fonctionnels fixés.

Si le patient cesse de porter régulièrement ses aligneurs, il existe un risque de devoir recommencer le processus à partir de l'étape des empreintes afin de fabriquer de nouveaux aligneurs. Cela peut être à la fois contraignant pour le patient et coûteux.

Il est donc crucial d'éduquer et de motiver le patient, en lui expliquant les conséquences d'une interruption du traitement et en soulignant l'importance de suivre les recommandations du praticien. Une bonne compréhension de l'importance de la coopération du patient contribue à optimiser les résultats esthétiques et fonctionnels du traitement orthodontique avec les aligneurs. Le nettoyage rigoureux des gouttières avec une brosse à dent souple et un dentifrice non abrasif est indispensable à une bonne hygiène, afin d'empêcher la prolifération des germes et l'entartrage.

Il est fortement recommandé, lors du traitement par aligneurs, d'éviter complètement les aliments et les boissons contenant certains types d'acides, de fructose, de saccharose et d'autres sucres, en particulier les boissons énergétiques, les sodas et les jus de fruits pendant le port des aligneurs.

Si un patient présente une prédisposition élevée à la carie, le praticien peut recommander au patient d'utiliser les aligneurs comme des aligneurs fluorés.

Il est également important de souligner aux patients fumeurs que la nicotine et le goudron présents dans les cigarettes peuvent causer une décoloration des aligneurs transparents.

3.6 Suivis et control

En général, la plupart des fabricants recommandent des visites de suivi toutes les 6 à 8 semaines afin de surveiller le déroulement du traitement, de rassurer le patient si nécessaire, d'apporter des corrections si besoin (comme le stripping) et de fournir de nouvelles gouttières.

Il peut lui être recommandé également de placer des élastiques de tractions intermaxillaires tout comme le praticien peut avoir recours à des mini vis d'ancrage si nécessaire et ce en fonction du diagnostic et du plan de traitement établi.

3.7 Contention post-traitement

Une fois le traitement orthodontique terminé, le praticien procédera à l'enlèvement des plots de composite, des rétenteurs de plaque et des éléments inesthétiques. Pour assurer la stabilité des résultats obtenus, une empreinte au silicone ou numérique peut être réalisée afin de fabriquer les dispositifs de contention.

Les dispositifs de contention peuvent être de deux types : fixes ou amovibles.

Les dispositifs amovibles comprennent l'appareil de contention Hawley, les dispositifs de contention transparents formés sous vide, et les dispositifs de contention "Vivera" proposés par Align Technology®. Dans certains cas, si le dernier aligneur est bien ajusté, il est possible de

commander en ligne les dispositifs de contention sans avoir besoin d'une nouvelle empreinte.

En cas d'expansion de l'arcade maxillaire, l'utilisation d'un appareil de contention transparent formé sous vide avec une couverture palatine complète peut également être envisagée.

Les contentions fixes consistent généralement en des fils collés sur les surfaces linguales des dents antérieures maxillaires et/ou mandibulaires. Ils assurent une rétention continue et sont conçus pour maintenir les dents dans leur nouvelle position.

Le praticien doit surveiller le patient pendant la période de contention afin s'assurer de la stabilité de l'occlusion finale et de l'absence de récurrence .

Chapitre VII

Les innovations récentes des aligneurs

1 Les aligneurs et traitements des adolescents

L'adolescence se distingue par la présence d'un potentiel de croissance qui doit absolument être exploité dans nos traitements thérapeutiques. C'est pourquoi des dispositifs spécifiquement conçus pour les adolescents sont développés dans cette optique.

1.1 Correction des classes II et III squelettiques

- Dispositif d'avancée mandibulaire : (85)

Precision wings ou « Invisalign mandibular advancement device 'MA' » qu'on a déjà présenté dans les chapitres précédents comme auxiliaire au aligneurs, est un dispositif mis en œuvre par AlignTechnologie™ pour traiter les anomalies squelettiques en classe II chez les personnes en pleine croissance ; ce dispositif est composé de deux plans inclinés latéraux situés dans la zone postérieurs sur la face vestibulaire des dents.

A chaque fois que le patient ferme la bouche, les plans entrent en contact en déterminant une position mandibulaire en avant . Ce protocole permet la dérotation des molaires postérieures, l'expansion dento-alvéolaire de l'arcade supérieur, la coordination des deux maxillaire et le contrôle du couple des dents antérieurs ; tous apte à aider l'avancée graduelle de la mandibule.

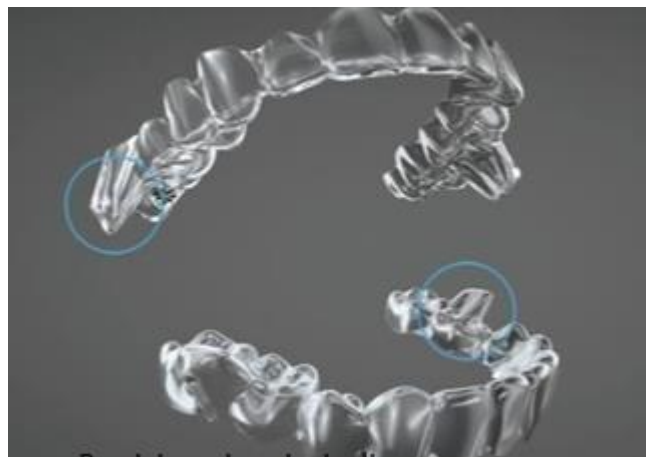


Figure 81: Precision wings .

(Source : AlignTechnologie)

- Appareil de Frankel : (23)

Pour traiter les anomalies squelettiques de classe II et III, les appareils de Frankel 2 et 3 sont utilisés en séquence. Ces dispositifs peuvent être combinés à des aligneurs. Lorsque les arcades maxillaires et mandibulaires sont étroitement transversales, ces deux dispositifs sont

préférés car ils stimulent le périoste, favorisant ainsi une croissance osseuse tout en neutralisant les forces musculaires.

Les résultats du traitement avec les aligneurs dépendront du port de l'appareil, car les écrans vestibulaires et linguales de l'appareil de Frankel assurent la même fonction, même en présence des aligneurs. En cas de classe II, ces écrans sont placés en vestibulaire pour protéger la mandibule de la pression des muscles qui ont tendance à la placer en position distale. En position linguale, ils se placent sous l'aligneur et stimulent la croissance de la mandibule en la poussant vers l'avant pour obtenir une classe I squelettique. Pour la classe III, la même procédure est appliquée pour le maxillaire.

Dans un premier temps, la durée idéale du port de l'appareil est de 16 heures sur 24. Une fois que la classe I squelettique est obtenue, l'appareil ne sera porté que pendant la nuit.

La fabrication de cet appareil se fait sur un modèle en plâtre, que le praticien a déjà réalisé avec les aligneurs en place. Les modèles sont ensuite mis en occlusion grâce au mordue en cire du patient, et toutes les modifications nécessaires sont apportées sur le modèle en plâtre pour créer l'espace nécessaire aux écrans vestibulaires et linguales de l'appareil.



Figure 82: Appareil de Frankel.

1.2 L'invisalign Teen système (86)

Align Technologie a développé une série d'aligneurs spécialement conçus pour les adolescents, qui se distinguent par la présence d'indicateurs bleus. Ces indicateurs servent à contrôler la durée pendant laquelle les aligneurs sont portés. Lorsque l'aligneur change de couleur et devient pâle, cela indique que le patient l'a beaucoup porté. Ces indicateurs constituent une preuve tangible de la durée adéquate du port pour le praticien, les parents et même l'adolescent lui-même, les aidant ainsi à se situer dans chaque étape du traitement.

Ces aligneurs prennent en compte les caractéristiques de la dentition mixte et la croissance active des mâchoires chez les adolescents. Pour prévenir la perte fréquente des aligneurs, ce système fournit également six aligneurs de remplacement individuels.

Comme nous l'avons déjà mentionné dans notre travail, l'hygiène bucco-dentaire est beaucoup plus facile à maintenir avec les aligneurs qu'avec les appareils multi-attaches. C'est pourquoi l'utilisation de ce système chez les adolescents est préférable, car cela permet de réduire la plaque dentaire, l'inflammation gingivale et la douleur associée aux aligneurs, qui est moindre par rapport aux traitements orthodontiques fixes

2 Made in home aligners: (87-91)

Les systèmes made in home aligners également appeler in house aligners (IHAs), désignent strictement les systèmes d'aligneurs transparents dans lesquels toutes les étapes de fabrication des gouttières, de la planification numérique du traitement à la prestation des soins orthodontiques, sont gérées dans le cabinet lui-même. Ces aligneurs ne représentent pas réellement un nouveau concept pour les orthodontistes. Dès les années 1960, des chercheurs tels que Nahoum, Ponitz, McNamara et Sheridan utilisaient des appareils de déplacement dentaire de type aligneur bien avant l'apparition d'Invisalign. Malgré les avancées, le principe de base de produire de légers mouvements dentaires avec des appareils transparents individualisés n'a pas changé. Cependant, la fabrication traditionnelle de ces appareils nécessitait des empreintes physiques, des moulages, la découpe des dents individuelles, leur réarrangement pour les aligner correctement, ce qui était un processus long et fastidieux à chaque rendez-vous.

Grâce au développement rapide et à l'accès facilité aux scanners intra-oraux, aux imprimantes 3D, aux logiciels de planification numérique et aux matériaux de fabrication des aligneurs, il est maintenant possible de fabriquer des aligneurs directement dans les cabinets d'orthodontie de manière rentable.

Made in home aligners offrent aux orthodontistes la possibilité de personnaliser véritablement les systèmes d'aligneurs transparents pour leurs patients, de coordonner leur utilisation et de réduire les coûts, ce qui les rend plus accessibles à un plus grand nombre de patients. En comparaison avec les aligneurs fournis par les entreprises, ils offrent également l'avantage de bénéficier d'un soutien en laboratoire pour les ajustements des appareils, ce qui économise du temps tant pour les patients que pour les orthodontistes. Cependant, leur fabrication nécessite un personnel de soutien formé et dédié, ainsi qu'un investissement initial

dans le laboratoire et les équipements nécessaires, en plus d'une connaissance approfondie de leur fonctionnement.

En résumé, made in home aligners permettent une approche plus personnalisée de la fabrication des aligneurs transparents, favorisent la coordination et réduisent les coûts, mais nécessitent des ressources supplémentaires et une expertise spécifique pour leur mise en place. Le tableau ci-dessous résume les avantages et inconvénients de ce système :

Tableau 3: Avantages et inconvénients de Made in home aligners. (89)

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Possibilité de personnaliser véritablement les gouttières pour les patients et de coordonner leurs utilisations.• Possibilité de minimiser les couts rendant les aligneurs plus accessibles pour un plus grand nombre de patients.• Commodité de l'assistance du laboratoire pour les réglages de l'appareil.• Gain de temps pour les patients et le praticien.• Opportunité de marque personnelle dans un marché d'aligneurs transparents saturé.	<ul style="list-style-type: none">• Investissement initial en équipement de laboratoire et connaissance approfondie de leurs fonctionnements.• Le besoin d'un personnel d'assistance dédié et formé pour la fabrication efficace des gouttières.• Absence d'un protocole uniforme pour un seul système de made in home aligners.



Figure 83: Made in home aligners imprimé en 3D. (88)

Bien que, made in home aligners représentent actuellement une part relativement faible du marché des aligneurs orthodontiques, ils sont là pour rester et se développer, car de plus en plus les orthodontistes choisissent de fabriquer leurs propres aligneurs. Selon une enquête réalisée par MEADE en Australie, 21,63 % des orthodontistes utilisent ce système. SACHDEV a évalué l'exactitude des mouvements dentaires avec ces aligneurs chez les patients présentant un encombrement antérieur limité à 4 mm, et a constaté qu'elle était de 56,18 %, tandis qu'une étude menée par KRAVITZ a rapporté une exactitude globale de 41 % pour l'invisalign. De plus, un essai contrôlé randomisé a démontré que made in home aligners sont plus efficaces que les appareils fixes traditionnels pour obtenir une bonne occlusion dans les cas complexes nécessitant des extractions de prémolaires, à condition d'utiliser un protocole de déplacement dentaire approprié.

Un modèle orthodontique en plâtre était autrefois un élément essentiel du diagnostic orthodontique et de la planification du traitement, mais il est aujourd'hui largement remplacé par les scanners intra oraux (IOS), notamment à mesure que les cliniciens se tournent vers ce système d'aligneurs. Il existe plusieurs scanners intra oraux disponibles sur le marché, qui utilisent différentes technologies de numérisation avancées. La technologie de numérisation confocale est la plus utilisée dans la fabrication de made in home aligners, elle est plus rapide et elle capture des images en se concentrant sur un faisceau lumineux optique, offrant ainsi des images visuelles haute résolution, plus précises et moins déformées.

Après la numérisation intra orale, les modèles numériques sont exportés ou téléchargés sous forme de fichiers stéréolithographiques (STL) dans un logiciel de CAO. Sur le marché actuel, il existe plusieurs options de logiciels de CAO, allant des plus simples aux plus complexes, et des versions gratuites aux plus coûteuses. La plupart de ces logiciels permettent la conception d'un traitement par aligneurs, mais leur performance peut varier en fonction du logiciel choisi. Les logiciels peuvent être utilisés individuellement ou en combinaison, tels que OrthoAnalyzer (3Shape, Copenhague, Danemark), SureSmile (Dentsply Sirona, Charlotte, NC, États-Unis), OrthoInsight3D (Motion View software, Chattanooga, TN, États-Unis), Formlabs PreForm (Somerville, Massachusetts), SoftSmile (SoftSmile Inc., NY, États-Unis), Orthup (C4W, France), Archform (ArchForm Inc., CA, États-Unis), Bluskybio (BlueskyPlan, IL, USA), and Ulab (Ulab systems, TN, USA). Certains orthodontistes utilisent également des systèmes CAD/CAM a fin de développer leur propre logiciel exclusif.

Les principales étapes de l'utilisation du logiciel peuvent être résumées de la manière suivante :

1. Le prétraitement : Lors de cette étape, le logiciel permet de créer un nouveau dossier au nom du patient et d'importer ou de charger sa numérisation intra-orale.
2. Planification du mouvement dentaire : En utilisant le modèle numérique, le logiciel offre à l'orthodontiste la possibilité de planifier les mouvements dentaires souhaités et de créer une série d'aligneurs virtuels qui déplaceront progressivement les dents vers la position souhaitée. Cela implique de définir les positions initiales des dents, de spécifier les positions finales désirées et de déterminer les étapes intermédiaires du mouvement dentaire.
3. Post traitement : Une fois que le plan de traitement est terminé, le logiciel produit les données requises pour fabriquer les aligneurs physiques. Cela inclut la création des modèles 3D de chaque aligneur de la série, ainsi l'ajout de fonctionnalités supplémentaires telles que les attachements ou les auxiliaires.

Une fois que les aligneurs sont thermoformés à l'aide de feuilles thermoformables, il est nécessaire de les découper du moule thermoformé circulaire. Cette étape de découpe peut être réalisée soit à l'aide d'un ensemble de fraises et d'un micromoteur, soit avec des ciseaux spécialement conçus pour les aligneurs. Il est possible de choisir de maintenir le bord de l'aligneur droit et situé à 2 mm au-dessus du bord cervical, ou de le tailler le long du bord gingival. La découpe droite est réputée offrir une meilleure rétention, tandis que le bord gingival échancré facilite le retrait de l'aligneur et procure plus de confort au patient. Les chercheurs Khosravi et al ont identifié le protocole de découpe des aligneurs comme une étape critique dans le processus de fabrication des aligneurs transparents. Ils mentionnent que les protocoles impliquant l'utilisation d'un disque ou d'un couteau chaud sans chronophages et limitent le nombre d'unités produites par heure, tandis qu'une découpe précise à l'aide de ciseaux permet de réduire l'étape de polissage, qui peut ensuite être effectuée avec une fraise de polissage de grossièreté moyenne montée sur un micromoteur électrique de laboratoire offrant des options de contrôle de vitesse. Des découpeurs automatiques d'aligneurs, tels que le Trimlign d'Ortho-automation, offrent une alternative aux deux méthodes précédemment mentionnées pour la découpe des aligneurs, tout en automatisant la manipulation des pochettes d'aligneurs et l'étiquetage des kits.



Figure 84: flux de travail pour la fabrication in house aligneurs. (89)

3 Les accélérateurs de mouvements

3.1 Acceledent (92-94)

La méthode d'AcceleDent est née à l'université de San Antonio, située dans l'État du Texas aux États-Unis. Elle a reçu l'approbation de la FDA (Food and Drug Administration). Cette technique a démontré qu'elle peut accélérer le mouvement dentaire de 30 à 50 %.

Plus concrètement, le remodelage des os est facilité par des pulsations émises par l'appareil. En stimulant l'activité osseuse, le traitement est raccourci et les résultats sont visibles plus rapidement.

Le nouvel appareil est positionné entre les dents pour diffuser de légères vibrations. Ces pulsations accélèrent le déplacement des dents en étant guidées par l'appareil orthodontique en place. Afin d'obtenir une augmentation de la vitesse de traitement de 30 à 50 %, il est recommandé au patient d'utiliser le dispositif pendant 15 à 20 minutes chaque jour. Il est conseillé de le porter pendant des moments de calme, par exemple en regardant la télévision.

AcceleDent s'adresse quasiment à tous les patients. En pratique, le remodelage est compatible avec les traitements multi-bagues ou par aligneurs. C'est une méthode qui convient à toute personne souhaitant obtenir des résultats rapides.



Figure 85: Dispositif AcceleDent. (92)

3.2 Propel (95)(96)

Le dispositif Propel est utilisé pour effectuer des micro-ostéoperforations (MOPs), c'est-à-dire de minuscules perforations de la taille d'un trou d'épingle dans l'os autour des dents. Les MOPs stimulent une réponse inflammatoire naturelle, ce qui entraîne la libération des cellules responsables de la dégradation de l'os. Cela déclenche le processus de remodelage osseux et accélère le déplacement des dents. Une étude publiée dans l'*American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* a révélé que les MOPs augmentaient le taux de déplacement des dents de plus de deux fois et réduisaient le temps de traitement jusqu'à 62%.



Figure 86: Dispositifs Propel. (95)

4 Les pratiques treppeuses dans l'industrie des aligneurs (97)

Les annonces publicitaires pour des gouttières d'alignement dentaire à bas prix se multiplient sur Internet . Certains fabricants ont choisi de cibler directement le grand public en proposant des produits bon marché, contournant ainsi les professionnels de santé. Sur les plateformes de vente en ligne, certains fournisseurs offrent aux patients la possibilité de recevoir un "kit d'empreintes" à domicile, leur permettant de réaliser eux-mêmes leurs empreintes. L'aligneur est ensuite fabriqué et envoyé par courrier au patient.

4.1 Pourquoi ces offres de gouttières à bas prix représentent-elles un danger ?

Ces offres sur le web sont proposées sans diagnostic préalable, sans examen clinique ni radiographique, et sans suivi. Pourtant, lorsqu'on entreprend un traitement orthodontique qui implique le déplacement des dents, il est essentiel de prendre un certain nombre de précautions. Il est d'abord important de s'assurer qu'il n'y a pas de conditions cliniques qui contre-indiquent un traitement immédiat, telles que la présence de caries dentaires, de kystes ou de problèmes osseux. Il est également nécessaire de prendre en compte la présence de bridges ou d'implants, car tout déplacement même minime est interdit, sous peine de les endommager voire de les perdre.

Les rendez-vous de suivi périodique sont également indispensables, dans la mesure où ils permettent « d'ajuster, d'adapter, voire de modifier la thérapeutique en cours .

4.2 Quel est le risque de réaligner des dents sans un plan de traitement et sans un suivi adapté ?

En déplaçant une dent, on crée inévitablement une inflammation autour de celle-ci. Cependant, si ce déplacement dentaire est trop rapide ou mal contrôlé, il peut avoir un impact dramatique sur l'os, la gencive et la dent elle-même, pouvant même conduire à un déchaussement dentaire. Sans oublier les possibles conséquences sur l'équilibre de la sphère "orofaciale" et ses différentes fonctions, telles que la mastication, la déglutition, l'élocution, la posture de la langue, etc.

Ainsi, seul un professionnel de santé qualifié, qu'il s'agisse d'un chirurgien-dentiste ou d'un orthodontiste spécialisé, est en mesure d'évaluer correctement les risques et de proposer un suivi adapté.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les aligneurs orthodontiques semblent incarner l'avenir de l'orthodontie, répondant aux attentes esthétiques de nombreux patients. Ils offrent des résultats esthétiques parfaits, tant sur le dispositif thérapeutique que sur l'équilibre morphologique du visage. Cependant, il est crucial de ne pas négliger l'importance des fonctions oro-faciales et de l'harmonie occlusale pour obtenir un traitement complet

L'avenir prometteur de cette thérapeutique réside dans son évolution constante et son potentiel d'amélioration encore vaste pour les années à venir.

Depuis leur création, ces traitements ont connu une évolution constante grâce aux avancées technologiques. Des progrès significatifs ont été réalisés, tels que la planification des traitements, grâce aux logiciels de simulation thérapeutique assistés par ordinateur, les empreintes optiques réalisées à l'aide des scanners intra-oraux de plus en plus précis, l'utilisation de l'impression 3D, et enfin l'amélioration continue des matériaux et des accessoires et le recours aux techniques hybrides. Ces innovations et améliorations constantes ont permis d'accroître les options de traitement et l'efficacité des mouvements réalisés avec les aligneurs.

En fin de compte, il est essentiel de garder à l'esprit que ces avancées technologiques sont conçues pour nous soutenir dans nos traitements, mais que notre jugement clinique demeure primordial.

Bibliographie

Bibliographie

1. Remensnyder O. Dental Massage Device, U. S. Patent 1,691,785, Nov. 13, 1928.
[https://doi.org/10.1016/0002-9416\(71\)90099-6](https://doi.org/10.1016/0002-9416(71)90099-6).
2. Kesling HD. The philosophy of the tooth positioning appliance, Am; J. Orthod.1945;31:297-304. [https://doi.org/10.1016/0096-6347\(45\)90101-3](https://doi.org/10.1016/0096-6347(45)90101-3).
3. Nahoum HI. The vacuum formed dental contour appliance. New York State Dent J;1964;9:385-90
4. Ponitz RJ. Invisible retainers. Am J Orthod 1971; 59: 266
5. McNamara JA Jr, Kramer KL, Juenker JP. Invisible retainers. J Clin Orthod 1985;19:570-8.PMID: 3862671
6. Sheridan JJ, LeDoux W, McMinn R. Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. J Clin Orthod. janv 1993;27(1):37-45.
7. Richard Bouchez, DDS. Clinical Success in Invisalign Orthodontic Treatment. Quintessence International,. france: Quintessence International; 2011. 160 p.
8. Wong. BH. Invisalign A to Z. San bruno Californie; 2002.
9. Khan W. [New concepts in aligner therapy with the orthocaps system]. Orthod Fr. sept 2014;85(3):253-64.
10. Abdelhamid. T. 3.la Réaction Tissulaire Au Déplacement Dentaire | PDF | Os | Orthodontie [Internet]. Scribd. [cité 24 juin 2023]. Disponible sur: <https://fr.scribd.com/document/538460527/3-La-Reaction-Tissulaire-Au-Deplacement-Dentaire>.
11. Baron R. Le remaniement de l'os alvéolaire au cours du déplacement spontané et provoqué des dents. Rev Orthop Dento Faciale. 1 juill 1975;9(3):309-25.
12. Dr. Jean-Marc Retrouvey Dr. Katherine Koussaie P. Physique de base en orthodontie.
13. Marie-José Boileau. Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte principes et moyens thérapeutiques. elseiver masson. Vol. 1. Elsevier Masson SAS; 2011. 277 p.
14. Bonnefont R, Guyomard F. Rappel des notions de mécaniques utilisables en orthopédie dento-faciale. Rev Orthop Dento Faciale. 1 janv 1979;13(1):5-25.

15. Ortho Department, Yangon. Types of tooth movement in orthodontics. Santé & Médecine. 31 mai 2018.
16. Lozano Zafra J, Palma Moya S. Aligner techniques in orthodontics. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell; 2020. 595 p.
17. Pierre-Loup.C , Les aligneurs orthodontiques : nouvel outil thérapeutique, utilisation au cabinet et perspectives . Université Paris Descartes . p84.
18. Hahn W, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, Zapf A, Kubein-Meesenburg D, et al. Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a maxillary central incisor during tipping. Am J Orthod Dentofacial Orthop. juill 2009;136(1):12.e1-7; discussion 12-13.
19. Kwon JS, Lee YK, Lim BS, Lim YK. Force delivery properties of thermoplastic orthodontic materials. Am J Orthod Dentofacial Orthop. févr 2008;133(2):228-34; quiz 328.e1.
20. Skaik A, Wei XL, Abusamak I, Iddi I. Effects of time and clear aligner removal frequency on the force delivered by different polyethylene terephthalate glycol-modified materials determined with thin-film pressure sensors. Am J Orthod Dentofacial Orthop. janv 2019;155(1):98-107.
21. Hahn W, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, Zapf A, Kubein-Meesenburg D, et al. Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a maxillary central incisor during tipping. Am J Orthod Dentofacial Orthop. juill 2009;136(1):12.e1-7; discussion 12-13.
22. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. Am J Orthod Dentofacial Orthop. janv 2009;135(1):27-35.
23. Schupp W, Haubrich J. Aligner Orthodontics : Diagnostics, Biomechanics, Planning and Treatment. Quintessenz Verlags GmbH. 2015.
24. Machado RM. Space closure using aligners. Dental Press J Orthod. août 2020;25(4):85-100.
25. Richard Bouchez, DDS. Clinical Success in Invisalign Orthodontic Treatment. Quintessence International, France: Quintessence International; 2011. 160 p.
26. Les élastiques | Dre Isabelle Baillargeon Orthodontiste Québec [Internet]. Dre Isabelle Baillargeon, Orthodontiste, Ville de Québec. [cité 9 juin 2021]. Disponible sur: <https://drebaillargeon.com/les-elastiques/> .

27. Les Minivis | Dr Laurence Furlotti-Goubert [Internet]. [cité 12 juin 2021]. Disponible sur: <https://dr-furlotti-goubert-laurence.chirurgiens-dentistes.fr/content/les-minivis>.
28. Vijayaalakshmi LG, Sumathifelicita A. CLEAR ALIGNERS IN ORTHODONTICS. *International Journal of Management, IT & Engineering*. juill 2017;7(7):4.
29. Sadri I. An argument for clear aligners and clear braces. *DentistryIQ* [Internet]. oct 2013 [cité 6 juin 2021]; Disponible sur: <https://www.dentistryiq.com/dentistry/orthodontics/article/16354485/an-argument-for-clear-aligners-and-clear-braces>.
30. SUSANNA ISABEL RICHTER ET COLL. POSSIBILITÉS ET LIMITES DU TRAITEMENT ORTHODONTIQUE PAR ALIGNEURS. *QUINTESSENCE DENTISTERIE RESTAURATRICE ET PROTHÈSE* [Internet]. mai 2017 [cité 6 juin 2021];11(2). Disponible sur: <https://academie-du-sourire.com/IMG/pdf/-13.pdf>.
31. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Australian Dental J*. 2017;62:(Suppl 1):58-62.
32. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, and Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: Incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2014, Jun;145(6):728-36.
33. Drake CT, McGorray SP, Dolce C, Nair M, and Wheeler TT. Orthodontic tooth movement with clear aligners. *ISRN Dent*. 2012;2012657973.
34. Michael Kamatovic. A Retrospective Evaluation of the Effectiveness of the Invisalign® Appliance using the PAR and Irregularity Indices. [Thesis for the degree of Master of MSc]. Toronto ; 2004.
35. Susan A. Erdman-Spain. Evaluation of expected and actual Invisalign® treatment outcomes. [Thesis for the degree of Master of Science in Oral Sciences in the Graduate College of the University of Illinois]. Chicago ; 2006.
36. Aileen S. Kim. Treatment Effectiveness of the Invisalign® System: A systematic review. [Thesis for the degree of Master of Science in Oral Biology].2013.
37. Krieger E, Seiferth J, Marinello I, Jung B, Wriedt S, Jacobs C et al. Invisalign® treatment in the anterior region. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2012;73(5):365-376.

38. Kassas W, Al-Jewair T, Preston C, Tabbaa S. Assessment of Invisalign treatment outcomes using the ABO Model Grading System. *Journal of the World Federation of Orthodontists*. 2013;2(2):e61-e64.
39. Chisari J, McGorray S, Nair M, Wheeler T. Variables Affecting Orthodontic Tooth Movement with Clear Aligners. *Smile Dental Journal*. 2014;9(3):36-36.
40. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung B, Bourauel C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique – regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health*. 2014;14(1).
41. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi C. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *The Angle Orthodontist*. 2015;85(5):881-889.
42. Buschang P, Ross M, Shaw S, Crosby D, Campbell P. Predicted and actual end-of-treatment occlusion produced with aligner therapy. *The Angle Orthodontist*. 2015;85(5):723-727.
43. Grünheid T, Loh C, Larson BE. How accurate is Invisalign in nonextraction cases? Are predicted tooth positions achieved? *Angle Orthod*. 2017 Nov;87(6):809-815.
44. Lombardo L, Arreghini A, Ramina F, Huanca Ghislanzoni L, Siciliani G. Predictability of orthodontic movement with orthodontic aligners: a retrospective study. *Progress in Orthodontics*. 2017;18(1)
45. Charalampakis O, Iliadi A, Ueno H, Oliver D, Kim K. Accuracy of clear aligners: A retrospective study of patients who needed refinement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2018;154(1):47-54.
46. Tepedino M, Paoloni V, Cozza P, Chimenti C. Movement of anterior teeth using clear aligners: a three- dimensional, retrospective evaluation. *Progress in Orthodontics*. 2018;19(1).
47. Izhar A, Singh G, Goyal V, Singh R, Gupta N, Pahuja P. A Prospective Comparative Study between the Software Models and Clinical Models of Clear Aligner Treatment. *Orthodontic Journal of Nepal*. 2019;9(1):28-34
48. Robertson L, Kaur H, Fagundes N, Romanyk D, Major P, Flores Mir C. Effectiveness of clear aligner therapy for orthodontic treatment: A systematic review. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2020;23(2):133-142.

49. Haouili N, Kravitz N, Vaid N, Ferguson D, Makki L. Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2020;158(3):420-425.
50. Tsai M, Chen S, Chen Y, Yao C. Treatment Efficacy of Invisalign. Literature Review Update. *Taiwanese Journal of Orthodontics*. 2020;32(2): 68-78.
51. Lombardo L, Albertini P, Siciliani vsGiuseppe. The hybrid approach: A solution to overcome unpredictable movements in clear aligner therapy. *APOS*. 30 juin 2020;10(2):72-7.
52. Kravitz, N.D,Miller.S, Bowman.S.Jay,Wilmes.B , Combining Aligners with Other Devices [Internet]. [cité 30 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.jco-online.com/archive/2023/01/9-overview-hybrid-aligner-treatment/>.
53. Eckhart, J.E.: Sequential MARA-Invisalign treatment, *J. Clin. Orthod*. 43:439-448, 2009.
54. Mompell, R. and Bowman, S.J.: Microimplant-assisted aligner therapy, in *Temporary Anchorage Devices (TADs) in Contemporary Orthodontics*, ed. J.H. Park, Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, 2020, pp. 567-580.
55. Bowman SJ, Celenza F, Sparaga J, Papadopoulos MA, Ojima K, Lin JC. Creative adjuncts for clear aligners: part 1: class II treatments. *J Clin Orthod*. 2015;49(2):83–94.
56. Bowman SJ, Celenza F, Sparaga J, Papadopoulos MA, Ojima K, Lin JC. Creative adjuncts for clear aligners: part 2: intrusion, rotation, and extrusion. *J Clin Orthod*. 2015;4 (3):162–174.
57. Bowman SJ, Celenza F, Sparaga J, Papadopoulos MA, Ojima K, Lin JC. Creative adjuncts for clear aligners: part 3: extraction and interdisciplinary treatment. *J Clin Orthod*. 2015;49(4):249–262.
58. Lin JC, Tsai SJ, Liou EJ, Bowman SJ. Treatment of challenging malocclusions with Invisalign and miniscrew anchorage. *J Clin Orthod*. 2014;48(1):23–36.
59. Giancotti A, Germano F, Muzzi F, Greco M. A miniscrew- supported intrusion auxiliary for open-bite treatment with Invisalign. *J Clin Orthod*. 2014;48(6):348–358.
60. Nanda R ,Castroflorio T,Garino F,Ojima K PRINCIPLES AND BIOMECHANICS OF ALIGNER TREATMENT. FIRST EDITION. 305 p.
61. Lindauer et Shoff, « Comparison of Essix and Hawley Retainers ».
62. Perkelvald, A. (2022). Are Clear Aligners Better than the Conventional Orthodontic Fixed Appliances?.*The Science Journal of the Lander College of Arts and Sciences*, 15(2), 46-53.

63. Corbin, « Thérapeutique orthodontique par aligneurs, une alternative pertinente aux systèmes fixes multi-attaches ? ».
64. Ke Y, Zhu Y, Zhu M. A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies. *BMC Oral Health*. 23 janv 2019;19(1):24.
65. Moshiri M, Eckhart JE, McShane P, German DS. Consequences of poor oral hygiene during aligner therapy. *J Clin Orthod*. août 2013;47(8):494-8.
66. Azeem M, Ul Hamid W. Incidence of white spot lesions during orthodontic clear aligner therapy. *Journal of the World Federation of Orthodontists*. sept 2017;6(3):127-30.
67. Buschang PH, Chastain D, Keylor CL, Crosby D, Julien KC. Incidence of white spot lesions among patients treated with clear aligners and traditional braces. *Angle Orthod*. mai2019;89(3):359-64.
68. Linge BO, Linge L. Apical root resorption in upper anterior teeth. *European Journal of Orthodontics*. 1 août 1983;5(3):173-83.
69. Aman C, Azevedo B, Bednar E, Chandiramami S, German D, Nicholson E, et al. Apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners: A retrospective study using cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. juin 2018;153(6):842-51.
70. Karkhanechi M, Chow D, Sipkin J, Sherman D, Boylan RJ, Norman RG, et al. Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy. *Angle Orthod*. janv 2013;83(1):146-51.
71. Levrini L, Mangano A, Montanari P, Margherini S, Caprioglio A, Abbate GM. Periodontal health status in patients treated with the Invisalign® system and fixed orthodontic appliances: A 3 months clinical and microbiological evaluation. *Eur J Dent*. sept 2015;9(3):404-10.
72. Cardoso PC, Espinosa DG, Mecnas P, Flores-Mir C, Normando D. Pain level between clear aligners and fixed appliances: a systematic review. *Prog Orthod*. 20 janv 2020;21(1):3.
73. Pascale Robitaille. Traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique avec Invisalign® : revue de la durée de traitement et des résultats obtenus [Internet]. [canada]: Université de Montréal; 2016. Disponible sur: <https://core.ac.uk/download/pdf/80342298.pdf> .
74. Sreesan N. S, Binu Purushothaman, Rahul. C. S, Shafanath T, Fawaz V. Clinical Photography in Orthodontics. *ijohmr* [Internet]. août 2016;03. Disponible sur: <http://www.ijohmr.com/upload/Clinical%20Photography%20in%20Orthodontics.pdf> .

75. Emmanuel D. Manuel de photographie dentaire. 2016 nov 1.
76. Farmakis I. Bilan photographique en orthodontie. : 7.
77. Mobile dental photography. Part I - Styleitaliano.org [Internet]. [cité 6 juin 2021]. Disponible sur: <https://styleitaliano.org/mobile-dental-photography-part-i/>.
78. Les aligneurs pour Les Nuls. Ruth OF . Disponible sur <https://www.aonews-lemag.fr/ao-42-les-aligneurs-pour-les-nuls-r-ohayon-farouz/>.
79. Orthodontics DS. MTM® Clear•Aligner: Taking Quality Monophase PVS Impressions [Internet]. Dentsply Sirona Orthodontics Blog. 2017 [cité 6 juin 2021]. Disponible sur: <https://www.dentsplysironaortho.com/2017/05/30/taking-quality-monophase-pvs-impressions/>.
80. Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. Int Orthod. juin 2016;14(2):184-94.
81. Nanjannawar LG, Agrawal JM, Agrawal MS, Parushetti AD. CBCT in Orthodontics: The Wave of Future. The Journal of Contemporary Dental Practice. févr 2013;14(1):153-7.
82. Hechler SL. Cone-Beam CT: Applications in Orthodontics. Dental Clinics of North America. oct 2008;52(4):809-23.
83. invisalign treatment | invisalign clear aligners [Internet]. [cité 12 juin 2021]. Disponible sur: <https://www.invisalign.com/>.
84. Tai S. Clear aligner technique. Hanover Park, IL: Quintessence Publishing Co, Inc; 2018. 1 p.
85. Giancotti A, Cozza P, Mampieri G. Aligners and Mandibular Advancement: A Comprehensive Option for Phase I Treatment of Class II, Division 1 Cases. J Clin Orthod. sept 2020;54(9):513-24.
86. Nouvelles technologies disruptives pour optimiser le traitement Invisalign [Internet]. [cité 6 juin 2021]. Disponible sur: https://www.ismile-orthocare.be/fr/news/14_nouvelles-technologies-disruptives-pour-optimiser-le-traitement-invisalign.
87. Tozlu M, Özdemir F. In-house Aligners: Why We Should Fabricate Aligners in Our Clinics? Turk J Orthod. 2021 Sep;34(3):199-201. doi: 10.5152/TurkJOrthod.2021.21157. PMID: 35110191; PMCID: PMC8939850.

88. Shah MJ, Kubavat AK, Patel KV, Prajapati NH. Fabrication of in-house aligner- A review. *J Contemp Orthod* 2022;6(3):120-124.
89. Thakkar D, Benattia A, Bichu YM, Zou B, Aristizabal JF, Fadia D, et al. Seamless Workflows for In-House Aligner Fabrication. *Seminars in Orthodontics*. 1 mars 2023;29(1):17-24.
90. Sachdev S, Tantidhnazet S, Saengfai NN. Accuracy of Tooth Movement with In-House Clear Aligners. *J World Fed Orthod*. 2021 Dec;10(4):177-182. doi: 10.1016/j.ejwf.2021.08.003. Epub 2021 Oct 5. PMID: 34625386.
91. Keim RG. In-house aligners. *J Clin Orthod*. 2021 Aug;55(8):449. PMID: 34910690.
92. AcceleDent - Réduisez le temps de votre traitement de moitié ! [Internet]. *Orthodontie Adulte*. 2017 [cité 1 juill 2023]. Disponible sur: <https://orthodontie-adulte.fr/acceledent/>.
93. Peter H. Nasser. 2019 [cité 1 juill 2023]. What Is AcceleDent? Disponible sur: <https://nasserorthodontics.com/what-is-acceledent/>.
94. Lory S. What Is AcceleDent and Does It Work? | Teeth Straightening Option [Internet]. *ALTA SMILES*. 2020 [cité 1 juill 2023]. Disponible sur: <https://www.altasmiles.com/what-is-acceledent-and-does-it-work/>.
95. Khanna DA. What is Propel and How Does it Work? | Brooklyn Orthodontist [Internet]. 2017 [cité 1 juill 2023]. Disponible sur: <https://www.freshorthodontics.com/what-is-propel-and-how-does-it-work/>.
96. Invisalign in HALF THE TIME - The Propel System - YouTube [Internet]. [cité 1 juill 2023]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=Vs47TXyziE>.
97. Kirialdeniyage M. Essentiel Santé Magazine. 2022 [cité 1 juill 2023]. Gouttières d'alignement dentaire achetées sur internet : quels sont les risques ? Disponible sur: <https://www.essentiel-sante-magazine.fr/sante/traitements-soins/gouttieres-dalignement-dentaire-achat-internet-risques>.

Résumé :

Depuis quelques années les aligneurs se sont imposés comme une alternative attrayante pour les malocclusions dentaires face aux autres méthodes classiques. Cette évolution a été rendue possible grâce aux plusieurs avantages offerts par cette thérapeutique, tels que leur apparence esthétique, leur confort (facilité de nettoyage, absence de restrictions alimentaires spécifiques) et leur caractère amovible. Ces atouts attirent aussi bien les adultes que les adolescents. Les avancées technologiques, telles que les scanners intra-oraux et les logiciels de modélisation en 3D, ont permis une meilleure planification du mouvement dentaire et la fabrication d'aligneurs personnalisés adaptés à chaque étape du traitement. Cette évolution des concepts des aligneurs a ouvert la voie à un élargissement des critères de sélection. Cette thérapeutique a un avenir très prometteur, offrant de nombreuses perspectives, notamment l'intégration des adolescents parmi les patients éligibles et la possibilité de fabriquer ces gouttières directement au sein du cabinet. En Algérie, l'utilisation de cette alternative est relativement récente, a du chemin encore à parcourir, et les praticiens semblent très motivés à apprendre cette technique.

Abstract:

In recent years, aligners have emerged as an attractive alternative for dental malocclusions compared to traditional methods. This evolution has been made possible thanks to several advantages offered by this therapy, such as their aesthetic appearance, comfort (easy cleaning, no specific dietary restrictions), and their removable nature. These benefits appeal to both adults and adolescents. Technological advancements, such as intraoral scanners and 3D modeling software, have enabled better planning of dental movements and the production of personalized aligners tailored to each stage of treatment. This evolution in aligner concepts has paved the way for broader selection criteria. This therapy has a very promising future, offering numerous prospects, including the integration of adolescents among eligible patients and the possibility of manufacturing these aligners directly within the dental clinic. In Algeria, the use of this alternative is relatively recent, still has a long way to go, but practitioners seem highly motivated to learn this technique.