

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Saad Dahlab -Blida 1-  
Faculté de médecine  
Département de médecine dentaire



Mémoire de fin d'étude

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

*Thème :*

*Les aligneurs en orthodontie*

Réalisé par:

- ADEL Kenza      - BOUSEKKINE Meriem      - DJEGHBOUB Asma
- RABAH Aya      - OUCIF Selma

Présenté et soutenu publiquement le : 26 Juin 2023

**Jury**

<b>Dr. TABBI</b>	Maitre-Assistant En ODF Clinique Zabana / CHU Frantz Fanon _ Blida	<b>Présidente</b>
<b>Dr. BARR</b>	Maitre-Assistant En ODF Clinique Zabana / CHU Frantz Fanon _ Blida	<b>Examineur</b>
<b>Dr. BENNAI</b>	Maitre-Assistant En ODF Clinique Zabana / CHU Frantz Fanon _ Blida	<b>Promoteur</b>

L'année universitaire : 2022-2023

# *Remerciements*

## *Remerciements*

Nos remerciements vont d'abord au Créateur de Cet Univers, l'Eternel, le tout Puissant « ALLAH » de nous avoir accordé la puissance et la volonté pour mener à bien ces années d'études et achever ce labeur.

La présentation de ce modeste travail nous offre l'occasion d'exprimer notre profonde gratitude au **DR. BENNAI**, qui a bien voulu diriger ce travail et la mise en forme de ce document. Nous le remercions pour ses soutiens indéfectibles depuis le début de cette tâche.

Nous tenons à remercier également les membres de jury **DR. BARR** et **DR. TABBI** qui nous ferons l'honneur de jurer notre travail ainsi pour la qualité de leur enseignement tout au long de notre cursus universitaire.

Veillez accepter l'expression de notre gratitude et nos respects les plus profonds.

Nos remerciements vont aussi à l'équipe pédagogique, enseignants et au personnel du département de médecine dentaire de l'université SAAD DAHLEB – Blida-, qui ont fait preuve d'un grand professionnalisme, durant ces années universitaire et qui méritent toute notre admiration.

Merci à toutes personnes ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire

## *Dédicaces*

## *Dédicace :*

*À mon cher papa :*

*Même si tu n'es plus là, ton esprit continue de briller dans ma vie. Aucune dédicace ne saurait suffire à exprimer mon amour. Tu as tout donné, sacrifiant sans relâche pour mon éducation et ma formation. Ce modeste travail est le fruit de tous ces sacrifices, de ton dévouement inlassable envers mon avenir. Je prie pour que Dieu t'accorde dans son vaste paradis, où ton âme pourra enfin trouver la paix éternelle.*

*À ma chère maman,*

*Je tiens à te remercier du fond du cœur pour ta présence aimante. Tu m'as entouré d'amour et d'affection, et tu as fait tout ce qui était en ton pouvoir pour assurer ma réussite.*

*À mes frères « **Abdel Kader ; Abdel Nour ; Amine et Rabah** », mon âme sœur « **Lamis** », ma belle-sœur et mes deux neveux « **Tamime et Louay** »*

*À mes oncles, mes tantes et à toutes ma famille*

*Pour votre soutien inconditionnel, que ce soit par des mots d'encouragement, des gestes attentionnés ou simplement par votre présence chaleureuse.*

*À mes chères amies « **Abir, Amani, Chaima, Hanaa, Ibtissem et Nafissa** » Merci du fond du cœur d'être là pour moi à chaque étape de ma vie. Votre fidélité est un trésor que je chérirai toujours.*

*À mes meilleures rencontres « **Asma et mon binôme Selma** », pour votre présence tout au long de ces six années. Que notre amitié et notre lien spécial perdurent bien au-delà de cette étape de nos vies.*

*À mon groupe de mémoire « **Aya, Asma, Meriem et Selma** » pour votre contribution inestimable à la réalisation de ce projet.*

*ADEL Kenza*

*Je dédie ce mémoire :*

*A mes chers parents source de vie, d'amour et d'affection, qui ont été toujours à mes côtés et qui m'ont soutenu tout au long de ces longues années d'études.*

*A mon père **ALI** pour le gout à l'effort qu'il a suscité en moi, par sa rigueur. Grâce à toi j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployés pour mon éducation et ma formation.*

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse, mon adorable mère **Fatma-Zohra**. En vous, je vois la maman parfaite, toujours prête à se sacrifier pour le bonheur de ses enfants. Je t'aime.*

*A mes frères **LOQMAN** et **ILYES**, qui m'ont soutenue réconfortée et encouragée.*

*A mes sœurs **ANFEL** et **BARAA**. Vous m'avez toujours supporté dans mes décisions et vous n'avez pas cessé de me conseiller, encourager, soutenir et partager avec moi tous les moments d'émotions tout au long de mes études.*

*A mon beau-frère **MOHAMED**, qui m'a toujours aidé dans les moments les plus difficiles.*

*A mon neveu **WASSIM** ; toi ma source de joie et de bonheur. Je t'aime.*

*A toute la famille source d'espoir et de motivation, qui m'a doté d'une éducation digne, son amour et son encouragement ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui.*

*La présentation d'un mémoire est d'abord et avant tout une œuvre collective, donc, je le dédie à mes collègues **ASMA**, **AYA**, **KENZA** et **SELMA** qui ont contribué à amener ce labeur à terme.*

*A mes amies **RIHANAA**, **BOCHRA** et **SONIA**, et ma voisine **ILHEM** qui m'ont toujours m'encourager et à qui je souhaite plus de succès.*

*A tous ceux que j'aime.*

**BOUSEKKINE Meriem**

*Cher papa, en cette merveilleuse occasion, je tiens à te remercier du fond du cœur pour ton soutien infailible, ta patience, tes conseils et ta confiance en moi. Avec toi comme père, je n'ai jamais eu peur d'affronter la vie. La lueur de fierté dans tes yeux lorsque tu parles de moi est une source d'inspiration constante. Je m'engage à faire de mon mieux pour être à la hauteur de tes attentes.*

*Chère maman, tu es mon plus bel exemple de femme forte et inspirante. Ta présence et ton soutien ont été d'une importance capitale dans ma vie. Ce travail est le fruit de votre dévouement pour mon éducation et ma formation. Je suis fière d'être ta fille, et je ferai tout mon possible pour te rendre fière.*

*Je dédie ce travail aussi à ma grande sœur **Ahlem**, tu as toujours été ma protectrice et mon soutien indéfectible. Ta sagesse, ta gentillesse et ton amour ont illuminé mon chemin et ont fait de toi un pilier essentiel dans ma vie.*

*À mon frère unique **Mounir**, ta présence a été un cadeau précieux dans ma vie. Merci d'être mon frère, mon complice et mon ami fidèle.*

*À ma petite sœur adorée **Assil**. Ta douceur, ton innocence et ta joie contagieuse ont le pouvoir de réchauffer mon cœur à chaque instant.*

*À mon merveilleux fiancé, merci pour ta tendresse, ta compréhension et ton soutien inconditionnel.*

*À mon beau-frère **Walid**, ma famille, ma belle-famille et mes amies précieuses « **Kenza, Selma et Ikram** en particulier ». Je vous suis infiniment reconnaissante d'être toujours là pour moi.*

*Et en fin, À mon groupe « **Aya, Kenza, Meriem et Selma** » de travail exceptionnel, dont chaque membre a retenu de manière précieuse à la réalisation de ce projet. Merci d'avoir partagé cette expérience enrichissante avec moi.*

**DJEGHBOUB Asma**

*Je dédie ce travail à ceux qui ont joué le rôle le plus important dans ma vie, mon père "Mostefa" et ma mère "Mameur Djilali Karima", vous êtes les piliers de ma vie. Votre amour inconditionnel, votre patience infinie ont été les fondements sur lesquels j'ai construit mon parcours académique.*

*À mes grands-parents "MDj Ahmed et Tahri Aida" votre soutien et votre présence me poussent vers l'avant.*

*À mes grand parents décédés "Mamar et Abrous Fatma" que dieu leur accueil dans son paradis.*

*À ma famille élargie, mes frères : Mohamed et Adnan, mes sœurs : Aroi et Thanaa. Mes oncles, mes tantes et mes cousins votre fierté envers mes accomplissements a été une source inépuisable de joie et de satisfaction.*

*À mon groupe de mémoire Meriem, Selma, Asma, Kenza et mes amies, Marwa , Bouchra , Fatima et ma cousine Iman. Vos encouragements, votre soutien moral et vos moments de détente ont allégé le fardeau des études.*

*À mon oncle Aichouba Ibrahim merci de m'avoir soutenu tout au long de mon parcours universitaire.*

*À Dr Belhamidi et Dr Daghbadi, je n'oublie jamais votre soutien et votre aide dans ma pratique.*

**RABAH Aya**

*Je dédie ce modeste travail :*

*À la mémoire de mon cher grand père, tu seras toujours dans mes pensées et dans mon cœur.*

*À ma chère maman **Soumia**, qui m'a soutenu tout au long de ces années d'études, je tiens à te dédier cette réussite qui est aussi la tienne. Tu as sacrifié tant de choses pour mon éducation et mon bonheur, mettant de côté tes propres désirs et besoins pour que je réalise les miens, je ne pourrai jamais te remercier.*

*À mon cher papa **Ismail**, qui a toujours fait passer le bonheur de ses enfants avant tout. Je suis consciente des sacrifices que tu as faits pour ma réussite. Tu as travaillé dur pour m'aider à atteindre mes objectifs. Je suis extrêmement chanceuse d'avoir un père comme toi à mes côtés.*

*À ma sœur **Meriem**, ta sagesse et ta générosité font de toi une véritable source d'inspiration et un exemple à suivre. Je suis très reconnaissante d'avoir une sœur comme toi.*

*À ma petite sœur **Ines**, mon petit frère **Aymen** et mes deux adorables nièces **Hassiba** et **Assia**, chacun de vous occupe une place spéciale dans mon cœur.*

*À mon beau-frère **Oussama**, ma tante **Amina**, Tata **Atika** et à tous les membres de ma famille.*

*À mes chères meilleures amies **Nour** et **Sarah** ; votre amitié est un cadeau précieux dans ma vie.*

*À mon binôme **Kenza** et mon amie **Asma**, je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour les précieux souvenirs que nous avons partagés. Votre place dans mon cœur est éternelle, sans oublier le reste du groupe de ce travail « **Aya et Meriem** », j'ai eu le privilège inestimable de travailler avec vous.*

*À toutes les personnes qui ont participé à la réussite de ce travail.*

**OUCIF Selma**

# Table des matières

<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>II</b>
<b>DEDICACES .....</b>	<b>IV</b>
<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>X</b>
<b>TABLE DES FIGURES .....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS .....</b>	<b>XVI</b>
<b>RESUME :.....</b>	<b>XVIII</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : HISTORIQUE .....</b>	<b>3</b>
<b>1. L'ORIGINE DES TRAITEMENTS ORTHODONTIQUES :.....</b>	<b>4</b>
<b>2. LA TECHNIQUE EDGEWISE :.....</b>	<b>5</b>
2.1. DEFINITION :.....	5
2.2. DESCRIPTION :.....	5
2.3. LES PRINCIPES SPECIFIQUES DE L'EDGEWISE : .....	6
2.4. EVOLUTION :.....	6
<b>3. LA TECHNIQUE D'ARC DROIT :.....</b>	<b>7</b>
<b>4. LA TECHNIQUE LINGUALE : .....</b>	<b>7</b>
<b>5. LES ALIGNEURS :.....</b>	<b>8</b>
5.1. L'APPAREIL DE MASSAGE GINGIVAL « FLEX-O-TITE » DE REMENSNYDER (1925) :.....	8
5.2. LE POSITIONNEUR DE KESLING (1945) :.....	9
5.3. LA GOUTTIERE INVISIBLE DE NAHOUM : .....	9
5.4. L'INVISIBLE RETAINER DE PONITZ :.....	10
5.5. L'INVISIBLE RETAINER DE NAMARA :.....	11
5.6. SHERIDAN ET LE SYSTEME ESSIX :.....	11
5.7. ALIGNEURS TRANSPARENTS CONTEMPORAINS : .....	12
<b>CHAPITRE II : GENERALITES.....</b>	<b>13</b>
<b>1. LES PARTICULARITES CHEZ L'ADULTE : .....</b>	<b>14</b>
1.1. CONTEXTE PSYCHOLOGIQUE :.....	14
1.2. CONTEXTE BIOLOGIQUE : .....	15
1.3. PARTICULARITE THERAPEUTIQUE :.....	18
<b>2. LES GOUTTIERES DENTAIRES :.....</b>	<b>25</b>

2.1. DEFINITION :	25
2.2. TYPES DE GOUTTIERE :	26
<b>CHAPITRE III : LES ALIGNEURS</b>	<b>31</b>
<b>1. DEFINITION DES ALIGNEURS :</b>	<b>32</b>
<b>2. DEMARCHE DE DIAGNOSTIC :</b>	<b>32</b>
2.1. L'ANAMNESE :	32
2.1. L'EXAMEN CLINIQUE :	32
2.3. SYNTHESE DE DIAGNOSTIC ET OBJECTIFS DE TRAITEMENT :	44
<b>3. PLAN DU TRAITEMENT :</b>	<b>44</b>
3.1. BILAN ET SETUP DU TRAITEMENT :	44
3.2. EXPLICATION DU DEVIS ET VIDEO DE PRESENTATION :	45
3.3. TRAITEMENT PRE-ORTHODONTIQUE :	45
3.4. FABRICATION :	48
3.5. REMISE DES GOUTTIERES ET DEBUT DU TRAITEMENT :	50
3.6. ENTRETIEN :	50
3.7. SUIVIE ET CONTROLE :	52
3.8. ENREGISTREMENTS DES ALIGNEURS SUPPLEMENTAIRES ET SCANS NUMERIQUES :	52
3.9. DOSSIERS POST-TRAITEMENT :	53
3.10. CONTENTION :	53
<b>4. LA BIOMECHANIQUE DES ALIGNEURS :</b>	<b>54</b>
4.1. LES DIFFERENTES APPROCHES BIOMECHANIQUES :	54
4.2. LES AUXILIAIRES DE TRAITEMENT :	55
4.3. LES MOUVEMENTS POSSIBLES PAR LES ALIGNEURS :	61
<b>5. LES INDICATIONS ET LES CONTRES INDICATIONS DES ALIGNEURS :</b>	<b>68</b>
5.1. LES INDICATIONS :	68
5.2. LES CONTRE-INDICATIONS :	75
<b>6. LES AVANTAGES ET INCONVENIENTS</b>	<b>76</b>
6.1. LES AVANTAGES :	76
6.2. LES INCONVENIENTS :	78
<b>7. LES LIMITES DU TRAITEMENT AVEC LES ALIGNEURS :</b>	<b>81</b>
<b>CHAPITRE IV : LE SYSTEME INVISALIGN</b>	<b>83</b>
<b>1. PRESENTATION DU SYSTEME INVISALIGN :</b>	<b>84</b>
<b>2. LA MISE EN ŒUVRE DU PLAN DE TRAITEMENT :</b>	<b>85</b>

2.1. L'ETAPE CLINIQUE :	85
2.2. ETAPE LABORATOIRE :	87
2.3. LA RECEPTION ET LA MISE EN PLACE :	92
2.4. SUIVI ET CONTROLE :	93
2.5. CONTENTION :	93
<b>3. LES DIFFERENTS TYPES D'INVISALIGN :</b>	<b>94</b>
3.1. INVISALIGN FIRST :	94
3.2. INVISALIGN TEEN :	95
3.3. L'INVISALIGN FULL:	96
3.4. INVISALIGN LITE :	96
3.5. INVISALIGN Go :	97
3.6. L'INVISALIGN I7 :	98
<b>4. LES INNOVATIONS ET NOUVEAUTES EN SYSTEM INVISALIGN :</b>	<b>99</b>
4.1. MATERIAU SMART TRACK :	99
4.2. INVISALIGN AVEC AVANCEMENT MANDIBULAIRE :	100
4.3. LA TELECONSULTATION ET LA VISIOCONFERENCE :	101
<b>CHAPITRE V : ALIGNEURS VERSUS MULTI-ATTACHES</b>	<b>102</b>
<b>1. HYGIENE :</b>	<b>103</b>
<b>2. ALIMENTATION :</b>	<b>104</b>
<b>3. SANTE PARODONTALE :</b>	<b>104</b>
<b>4. LA RESORPTION RADICULAIRE APICALE :</b>	<b>105</b>
<b>5. BIOMECANIQUE :</b>	<b>105</b>
<b>6. DOULEUR :</b>	<b>107</b>
<b>7. EFFICACITE DU TRAITEMENT :</b>	<b>108</b>
<b>8. INDICATION ET CONTRE-INDICATION :</b>	<b>108</b>
<b>9. LA DUREE DU TRAITEMENT :</b>	<b>109</b>
<b>10. LA STABILITE ET LA RECIDIVE :</b>	<b>109</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>111</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>113</b>

## Table des figures

FIGURE 1:CHARLES H. TWEED. [4].....	5
FIGURE 2 : EDWARD H. ANGLE. [5].....	5
FIGURE 3: LES ELEMENTS DE L'EDGEWISE. [5].....	6
FIGURE 4: COMPARAISON ENTRE LA TECHNIQUE EDGEWISE ET L'ARC DROIT. [8].....	7
FIGURE 5 : L'APPAREIL DE MASSAGE GINGIVAL. [13] .....	8
FIGURE 6: LE POSITIONNEUR DE KESLING. [15] .....	9
FIGURE 7: L'APPAREIL DE THERMOFOMAGE SOUS VIDE. [13] .....	10
FIGURE 8: REPOSITIONNEMENT DE LA CANINE SUPERIEURE DROITE. [17].....	10
FIGURE 9: L'INVISIBLE RETAINER DE NAMARA. [18] .....	11
FIGURE 10: ESSIX RETAINERS. [19].....	12
FIGURE 11: MALADIE PARODONTALE .[30] .....	17
FIGURE 12: MOUVEMENT DE TRANSLATION. [33] .....	18
FIGURE 13 : MOUVEMENT DE ROTATION DE LA DENT. [34] .....	19
FIGURE 14: DEPLACEMENT DU CENTRE DE RESISTANCE (CR) EN DIRECTION APICALE EN CAS DE RESORPTION OSSEUSE. [37] .....	20
FIGURE 15 : REPNSES BIOLOGIQUES LORS DU DEPLACEMENT DENTAIRE. [42] .....	21
FIGURE 16: MINI-VIS. [46].....	23
FIGURE 17: LES PLAQUES D'ANCRAGE.[47] .....	23
FIGURE 18: IMPLANT AXIAL. [49] .....	24
FIGURE 19: CLEAR ALIGNER. [70].....	32
FIGURE 20: SYSTEMES DE CAMERAS ADAPTES POUR LA PHOTOGRAPHIE DENTAIRE : .....	35
FIGURE 21: PHOTOGRAPHIES EXTRA-BUCCALES AVANT TRAITEMENT. [77].....	36
FIGURE 22: PHOTOGRAPHIES INTRA BUCCALES : .....	37
FIGURE 23: PRINCIPAUX EQUIPEMENTS UTILISES PENDANT LA PROCEDURE. ....	37
FIGURE 24: EMPREINTE WASH TECHNIQUE.[83].....	39
FIGURE 25 : SCANNER INTRA ORAL. [86] .....	40
FIGURE 26: MOULAGE DE PRESENTATION AVEC SOCLE VIRTUEL. [87] .....	41
FIGURE 27: MODELES IMPRIMES EN 3D. [89] .....	42
FIGURE 28 : RADIO PANORAMIQUE. [90].....	42
FIGURE 29: RADIO CEPHALOMETRIQUE. [92] .....	43

FIGURE 30: REFORMULATION MULTIPLANAIRE. A, C ET S INDIQUENT LES LIGNES D'INTERSECTION CORRESPONDANT RESPECTIVEMENT AUX PLANS AXIAL, CORONAL ET SAGITTAL.[93] .....	43
FIGURE 31: LOGICIEL DE PLANIFICATION DU TRAITEMENT « CLIN CHECK ». [95] .....	45
FIGURE 32: REDUCTION AMELAIRE INTERPROXIMALE.[78] .....	46
FIGURE 33: PROTOCOLE DE COLLAGE. [78] .....	47
FIGURE 34: A- MACHINE DE THERMOFORMAGE SOUS PRESSION BIOSTAR. [105].....	49
FIGURE 35: B- MACHINE DE THERMOFORMAGE SOUS VIDE PLASTVAC. [107].....	49
FIGURE 36: : LES PLAQUES DE THERMOFORMAGE EN POLYMERES.[108] .....	49
FIGURE 37: CONTENTION FIXE POSEE SUR LA FACE INTERNE DES DENTS. [115] .....	54
FIGURE 38: POWER RIDGE. [78] .....	56
FIGURE 39: ATTACHE ELLIPSOÏDE.[120] .....	57
FIGURE 40: ATTACHE RECTANGULAIRE.[121] .....	57
FIGURE 41: ATTACHE BISEAUTEE.[121].....	57
FIGURE 42: ATTACHES OPTIMISEES.[121].....	58
FIGURE 43: LES RAMPES D'OCCLUSION. [124] .....	59
FIGURE 44: PONTIQUE REMPLAÇANT LA CANINE. [125].....	60
FIGURE 45: COUPE ET BOUTON DE PRECISION.[78] .....	60
60 FIGURE 46: PINCE PERCEUSE RONDE.[126] .....	60
FIGURE 47: LES MINI-VIS.[128] .....	61
FIGURE 48: POWER ARM.[130].....	61
FIGURE 49: CONTROLE DU MOUVEMENT DES RACINES PENDANT LA TRANSLATION. [132].....	63
FIGURE 50: CONTROLE DU MOUVEMENT DES RACINES PENDANT LA FERMETURE D'ESPACE.[78] .....	64
FIGURE 51: ATTACHEMENT D'EGRESSION OPTIMISEE. [78].....	64
FIGURE 52: EGRESSION ABSOLUE DES INCISIVES SUPERIEURES.[78].....	65
FIGURE 53: POWER-GRIP.[134] .....	65
FIGURE 54: LES ELASTIQUES INTRA-ARCADE. [78].....	65
FIGURE 55: DES RAINURES OU ACCROCHER LES ELASTIQUES. [134] .....	66
FIGURE 56: MOUVEMENT DE ROTATION.[135].....	67
FIGURE 57 : L'ANGLE DE DISTORSION ENTRE LA SURFACE INTERNE DE L'ALIGNEUR ET LA SURFACE DE LA DENT GENERE PAR LA CRETE DE PUISSANCE. [137] .....	68
FIGURE 58 : LES ELASTIQUES DE CLASSE II.[139] .....	70
FIGURE 59 : LES ELASTIQUES DE CLASSE III. [141] .....	71

FIGURE 60 : CORRECTION DE LA BEANCE ANTERIEURE.[145].....	73
FIGURE 62: CORRECTION DE LA SUPRACLUSIE ANTERIEUR.[78].....	74
FIGURE 63: USURE DENTAIRE AVANCEE. [150] .....	76
FIGURE 64: SCANNER 3D INTRA-ORAL ITERO®. [171].....	86
FIGURE 65: PLAN DE TRAITEMENT.[178].....	89
FIGURE 66: ANNOTATIONS DU PRATICIEN SUR LE PLAN DE TRAITEMENT INVISALIGN, ASSISTE PAR LE LOGICIEL INFORMATIQUE CLIN CHECK. [176] .....	90
FIGURE 67: CLIN CHECK DE INVISALIGN.[180].....	91
FIGURE 68: LE SYSTEME DE STEREOLITHOGRAPHIE D'ALIGN TECHNOLOGY.[78] .....	92
FIGURE 69:A- ESSAYAGE DU MODELE. B-IDENTIFICATION DE POSITION DE TOUS LES TAQUETS. [182].....	92
FIGURE 70 : APPAREIL D'AVANCEMENT MANDIBULAIRE. [198] .....	101
FIGURE 71 : AVANCEMENT MANDUBILAIRE. [199] .....	101
FIGURE 72 : LES ALIGNEURS VERSUS MULTI-ATTACHES.[209] .....	103

## Liste des abréviations

- AAP: American academy of periodontology
- ABO: American board of orthodontics
- ATM: Articulation temporo-mandibulaire
- Biocryl<sup>tm</sup>: Biocryl thermoplastique
- CAD: Computer aided design
- CAM: Computer aided manufacturing
- CAO: Conception assistée par ordinateur
- CBCT : Cone Beam Computed Tomography
- CR : Centre de résistance
- CRO : Centre de rotation
- CT : Computerized tomography
- D : Distance
- DAM : Dysfonction de l'appareil manducateur
- DSLR : Digital single lens reflex
- FAO : Fabrication assistée par ordinateur
- FDA: Food and Drug administration
- FFF: Fused filament fabrication
- F : Force
- GAP : Gouttière occlusale d'antéposition
- GUN : Gingivite ulcéro nécrotique
- IAH : Indice d'apnée-hypopnée
- IAHO : Indice d'apnée –hypopnée obstructive
- IDS : Invisalign doctor site
- IOC : Indications of compromise
- LAD : Ligament alvéolo-dentaire
- M : Moment
- MD : Mésio-distal
- MBA: Master of business administration
- MIH: Molaire incisive hypoméniralisation
- OAM : Orthèse d'avancée mandibulaire
- OGS : Objective grading system

- OMS : Organisation mondiale de la santé
- ORL : Oto-rhino-laryngologie
- PAR : Peer assessment rating
- PPC : Pression positive continue
- PUN : Parodontite ulcéro nécrotique
- PVS : Poly vinyl siloxane
- RIP : Reduction inter-proximale
- RRA : Résorption radiculaire apicale
- SAS: Syndrome d'apnée-hypopnée
- SLA: Stereolithography apparatus
- SLS: Selective laser sintering
- SLM: Selective laser melting
- STL: Stéréolithographie
- TIM: Traction inter-maxillaire
- VLC: Visible light cuve
- VL: Vestibulo-lingual
- VOT: Virtual orthodontic treatment
- Vs : Versus
- © : Copyright
- ® : Marque déposée
- 3D : Tridimensionnelle

# *Les aligneurs en orthodontie*

## **Résumé :**

Depuis près de 20 ans, les aligneurs sont utilisés de plus en plus pour répondre avec succès aux demandes des patients en matière de traitement orthodontique esthétique. Initialement réservée aux adultes, la thérapie par aligneurs transparents est devenue une réalité pour les adolescents ces dernières années,

Les aligneurs sont des gouttières transparentes thermoplastiques amovibles, fabriqués sur mesure pour déplacer progressivement et séquentiellement les dents vers leurs positions désirées. Ils sont changés toutes les deux à trois semaines jusqu'à ce que l'alignement et l'occlusion souhaités soient obtenus. Grâce au modèle 3D obtenu de l'empreinte numérique, l'orthodontiste peut effectuer une simulation des mouvements dentaires jusqu'au résultat final. Les aligneurs peuvent être fabriqués actuellement soit par thermoformage, ou par impression 3D directe.

L'efficacité du traitement utilisant des aligneurs transparents a été largement documentée, que ce soit pour les problèmes d'encombrement dentaire ou pour la fermeture des espaces ...

Les aligneurs sont une alternative innovante aux appareils orthodontiques fixes, offrant des avantages multiples. Cependant, il est important de noter que les aligneurs ne conviennent pas à tous les types de malocclusions, en particulier les cas complexes nécessitant des mouvements dentaires importants. Dans de tels cas, la thérapie fixe peut être plus appropriée.

En conclusion, les progrès continus dans la conception des aligneurs et la compréhension de leur biomécanique contribueront à améliorer encore davantage leur efficacité et leur succès clinique.

## **Abstract:**

For nearly 20 years, aligners have been increasingly used to successfully meet patients' demands for aesthetic orthodontic treatment. Initially reserved for adults, transparent aligner therapy has become a reality for teenagers in recent years.

Aligners are custom-made, removable, thermoplastic transparent trays designed to gradually and sequentially move the teeth towards their desired positions. They are changed every two to three weeks until the desired alignment and occlusion are achieved. With the 3D model obtained from the digital impression, the orthodontist can simulate the dental movements all the way to the final result.

Currently, aligners can be manufactured either through thermoforming or direct 3D printing. The effectiveness of treatment using transparent aligners has been extensively documented, whether for dental crowding or space closure...

Aligners are an innovative alternative to fixed orthodontic appliances, offering multiple advantages. However, it is important to note that aligners may not be suitable for all types of malocclusions, especially complex cases requiring significant dental movements. In such cases, fixed therapy may be more appropriate.

In conclusion, ongoing advancements in aligner design and understanding of their biomechanics will further enhance their efficiency and clinical success.

## **التلخيص:**

منذ ما يقرب من 20 عامًا ، تم استخدام المصففات بشكل متزايد لتلبية متطلبات المرضى من العلاج التقويمي التجميلي بنجاح. في البداية مخصص للبالغين ، أصبح علاج التقويم الشفاف حقيقة واقعة للمراهقين في السنوات الأخيرة. المصففات عبارة عن اقواس شفافة قابلة للإزالة، وهي مصنوعة خصيصًا لنقل الأسنان تدريجيًا ومتسلسلاً إلى المواضع المرغوبة. يتم تغييرها كل أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع حتى يتم تحقيق المحاذاة والانسداد المطلوبين. بفضل النموذج ثلاثي

الأبعاد الذي تم الحصول عليه من الانطباع الرقمي، يمكن لأخصائي تقويم الأسنان إجراء محاكاة لحركات الأسنان حتى النتيجة النهائية.

يمكن حاليًا تصنيع المصفقات إما عن طريق التشكيل الحراري أو الطباعة ثلاثية الأبعاد المباشرة. وقد تم توثيق فعالية العلاج باستخدام التقويم الشفاف بشكل واسع، سواء في حالات تداخل الأسنان أو إغلاق الفراغات.

تعتبر المصفقات بديلاً مبتكرًا للأجهزة التقويمية الثابتة، حيث توفر العديد من المزايا. ومع ذلك، من المهم أن نلاحظ أنها قد لا تكون مناسبة لجميع أنواع تشوهات العضة، خاصة في الحالات المعقدة التي تتطلب حركات أسنان كبيرة. في مثل هذه الحالات، قد يكون العلاج الثابت أكثر ملاءمة.

في الختام، ستسهم التطورات المستمرة في تصميم المصفقات الشفافة وفهمها للبيوميكانيك في تعزيز كفاءتها ونجاحها السريري.

**Mots clés:**

Aligneurs, Orthodontie invisible, Gouttières, Invisalign.

**Keywords:**

Aligners, Invisible Orthodontics, Clear Aligners, Invisalign.

**الكلمات الرئيسية :**

التقويم غير المرئي، الأقواس الشفافة، إنفيزالين.

# *Introduction*

## Introduction

L'orthodontie est une discipline médicale spécialisée qui a pour objectif de corriger les anomalies dentaires et les mauvaises positions des maxillaires. Au fil du temps, les progrès de la technique ont permis d'améliorer les traitements en orthodontie, ceci est fait grâce à l'apparition de nouvelles techniques et de nouveaux outils. Parmi ces progrès, les aligneurs orthodontiques ont révolutionné la pratique en proposant une alternative esthétique et confortable aux bagues métalliques traditionnelles.

Les aligneurs orthodontiques sont des gouttières transparentes et amovibles, conçues sur mesure pour chaque patient. Ils sont conçus pour appliquer une force douce et progressive sur les dents, en les déplaçant progressivement vers la position souhaitée. Chaque série d'aligneurs est remplacée par une nouvelle série pendant plusieurs semaines, permettant ainsi une évolution continue du traitement.

Le principal avantage des aligneurs orthodontiques repose sur leur esthétique discrète. Contrairement aux bagues métalliques, les aligneurs sont quasiment invisibles lorsqu'ils sont portés, ce qui donne aux patients plus de confiance en eux durant le traitement. Par ailleurs, étant amovibles, les aligneurs permettent aux patients de manger et de boire sans restriction, ce qui simplifie ainsi leur vie.

Le recours aux aligneurs orthodontiques améliore aussi le confort du patient. Les aligneurs sont fabriqués à l'aide de techniques de modélisation 3D et à partir de matériaux souples et lisses, évitant ainsi les irritations et les blessures souvent associées aux bagues métalliques. En outre, les ajustements nécessaires au cours du traitement sont les moins fréquents et les moins douloureux, ce qui est agréable pour le patient.

Dans ce mémoire, nous examinons en détail les aligneurs en orthodontie et leur impact sur la pratique clinique. Nous examinerons le principe de fonctionnement des aligneurs, leur processus de fabrication, leur efficacité, leurs avantages et leurs limites par rapport aux autres techniques orthodontiques.

# *Chapitre I : Historique*

## 1. L'origine des traitements orthodontiques :

La connaissance en profondeur d'une discipline ne peut ignorer ses origines. La lecture historique d'une discipline éclaire à la fois son évolution et le point de départ des grandes lignes de séparation qui divisent encore aujourd'hui l'orthodontie et les orthodontistes.

L'histoire de l'orthodontie remonte au II<sup>e</sup> siècle où CELSE préconisait de déplacer les dents en appuyant dessus avec le doigt.

Faisons un bond jusqu'au Xe siècle où un médecin de Cordoue, Abu Al Kasim ibn Abbas Al-Zahrawi, préconisait la même technique et traitait les encombrements dentaires par limage (aujourd'hui on dit "sculpture amélaire inter-proximale" ou "stripping") et extraction dentaire.[1]

Il a fallu attendre le XVIII<sup>e</sup> siècle pour que Pierre Fauchard, chirurgien militaire, que l'histoire considère à juste titre comme le père de la chirurgie dentaire, publie son ouvrage en France, puis en Allemagne : "Traité des dents" (1728). Il consacre le 8<sup>ème</sup> chapitre du second volume aux «dents tortues, mal arrangées et luxées, des instruments et des remèdes qui servent à opérer quand on redresse et raffermis les dents »...[2]

C'est Fauchard qui a donné le signal de départ officiel de l'orthodontie. Ici on lime encore les dents mais apparaissent également les premiers appareils orthodontiques faits de plaquettes d'argent, de fil d'or et de soie.[1]

Dans la seconde moitié du 18<sup>ème</sup> siècle, ce sont surtout les anglo-saxons qui font progresser l'orthodontie. C'est un anatomiste anglais, John Hunter, qui décrit pour la première fois, en 1771, la croissance des maxillaires. Kingsley invente les appareils à porter la nuit. Puis, Farrar, en 1888 publie un énorme ouvrage sur l'orthodontie.[3]

Au début du 20<sup>ème</sup> siècle, deux américains, Edward Angle, puis Charles Tweed ont fait un bond en avant à l'orthodontie américaine, en inventant les appareils multi-bagues qui sont les précurseurs de ceux utilisés aujourd'hui. Ils sont les pères de l'orthodontie moderne.[3]



**Figure 1: Charles H. Tweed. [4]**



**Figure 2 : Edward H. Angle. [5]**

Vers 1924, Edward H. Angle développe la technique Edgewise. Ce type d'appareillage demeure encore la base industrielle de nombreux procédés orthodontiques les plus modernes.[2]

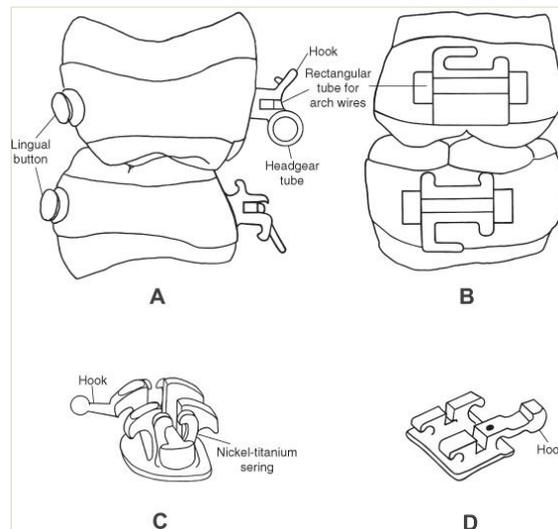
## **2. La technique Edgewise :**

### **2.1. Définition :**

L'Edgewise est une technique multi-attaches conçue pour répondre aux exigences de certains mouvements orthodontiques non réalisables par les techniques existantes jusqu'alors. Ce n'est pas une méthode de traitement mais un système mécanique qui permet des déplacements dentaires contrôlés. De nombreuses méthodes thérapeutiques dont l'objectif est de retrouver, en fin de traitement, une occlusion optimale esthétique et fonctionnelle, ont adopté pour y parvenir les mécanismes rigoureux de l'Edgewise.[4]

### **2.2. Description :**

C'est un appareillage orthodontique amovo-inamovible. Il comporte des éléments fixés sur les dents (les bagues, bases collées, brackets Edgewise, tube Edgewise et les attachements accessoires) qui leur transmettent les forces de déplacement, et des éléments amovibles (les arcs) qui, une fois attachés aux éléments fixés, génèrent ces forces. Tous ces éléments métalliques étaient initialement faits en or, mais très rapidement, l'acier inoxydable avec des qualités mécaniques supérieures a remplacé l'or dans leur fabrication.[4]



**Figure 3: Les éléments de l'Edgewise. [5]**

Mis à part les forces spécifiques de l'Edgewise générées par les arcs, la technique Edgewise implique trois autres types de forces auxiliaires: les forces mono ou intra-maxillaires, les forces intermaxillaires et les forces extra-orales.[4]

### 2.3. Les principes spécifiques de l'Edgewise :

Avant tout traitement orthodontique, un diagnostic complet s'impose. Ce diagnostic doit permettre de définir un certain nombre d'objectifs de traitement dans le but de rétablir une occlusion idéale. Toutefois, l'atteinte de ces objectifs dépend souvent des limites de la technique utilisée. En Edgewise, de telles limitations n'existent pas. Les résultats de l'analyse d'arcade et de l'analyse céphalométrique détermineront le plan de traitement, et la fin du traitement doit être conforme aux objectifs grâce à trois principes spécifiques de l'Edgewise :

- Le contrôle tridimensionnel des mouvements dentaires.
- La maîtrise des zones d'ancrage.
- Le concept de l'arc idéal.[4]

### 2.4. Evolution :

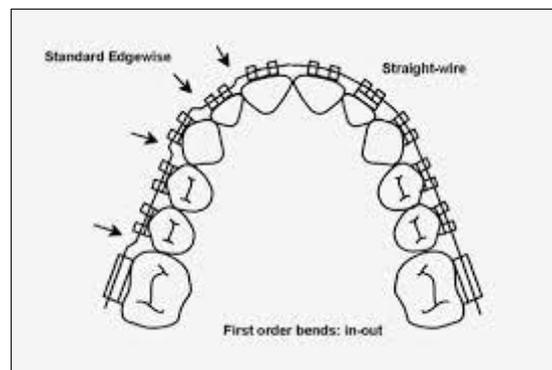
De nouvelles méthodes orthodontiques se développent actuellement, notamment la méthode de l'arc droit "straight wire", dans laquelle l'arc rectangulaire ne comporte aucune courbure des trois ordres, l'arc formé à plat est simplement adapté à la forme générale et à la

dimension de l'arcade. Les mouvements sont effectués par des modifications de la position dans l'espace de la lumière des attachements.[4]

### 3. La technique d'Arc droit :

Dans les années 1970, les techniques de Begg et Tweed nécessitaient un pliage fastidieux du fil. L'appareil à fil droit d'Andrews a considérablement réduit la nécessité de plier le fil. Andrews est à l'origine de l'amélioration de la conception des appareils, des niveaux de force et des mécanismes de traitement.[6]

Il est considéré comme le père du système de bracket pré-ajusté. Il a développé le premier système d'appareil pré-ajusté en 1972, appelé Straight Wire Appliance. L'appareil à fil droit était un appareil qui utilisait des forces latérales traditionnellement lourdes. Andrews a basé le positionnement du bracket sur le centre de la couronne clinique. Il a utilisé l'os basal de la mandibule comme référence pour la forme de l'arc et a également mis l'accent sur " l'effet roue de wagon " où la pointe est perdue à mesure que le couple est ajouté. Il a développé un système de brackets multiples pour les cas d'extraction et de non-extraction. Il a également recommandé l'utilisation de trois jeux différents de brackets pour les incisives, avec différents degrés de couple pour différentes situations cliniques.[7]



**Figure 4: Comparaison entre la technique Edgewise et l'Arc droit. [8]**

### 4. La technique linguale :

Elle est apparue dans les années 1970 par Kurz et Fujita.

En 1973, Kurz conçoit un système multi-attaches lingual en utilisant des attaches vestibulaires (attache postérieure en acier inoxydable et en plastique au niveau antérieur de type Lee Fischer). Ces attaches sont modifiées pour les adapter à la face linguale des dents.

Le Dr Kinya Fujita était professeur adjoint au département d'orthodontie de l'institut dentaire de Kanagawa Japonn, il a présenté pour la première fois ses concepts sur un appareil lingual en 1968. En 1975, il a commencé la fabrication et l'utilisation de son système d'appareil lingual pour déplacer chaque dent en trois dimensions du côté palatin ou lingual. [9]

Dans les années 1980, la société Ormco joue un rôle important dans le développement de cette technique, en créant la « Lingual Task Force », une équipe composée d'ingénieurs et d'orthodontistes parmi lesquels on retrouve les frères Alexander, ainsi que Gorman, Higers, Kurz, Scholz et Smith, leur objectif c'était développer la technique linguale, notamment en améliorant la forme des attaches , et en 1982, ils présentent pour la première fois la technique linguale en Europe. [10]

## 5. Les aligneurs :

### 5.1. L'appareil de massage gingival « flex-o-tite » de remensnyder (1925) :

En 1925, Orrin Remensnyder développe un dispositif dentaire pour exercer une pression et masser la gencive marginale (gum-massaging appliance) en vue de traiter les maladies parodontales.[11] Il s'agissait d'un appareil en caoutchouc souple, recouvrant les couronnes cliniques et la gencive marginale et commercialisé sous le nom d'appareil de massage gingival "Flex-O-Tite". Dans les années qui ont suivi, il a rapporté des observations de mouvements dentaires mineurs survenus avec l'utilisation de cet appareil.[12]

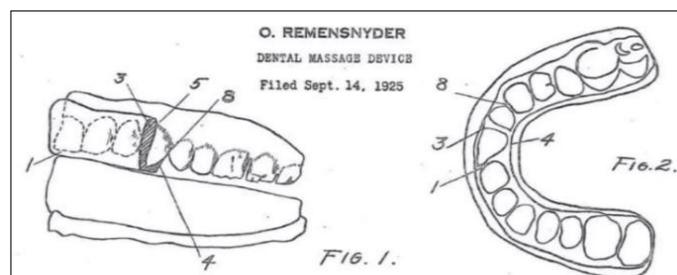


Figure 5 : L'appareil de massage gingival. [13]

## 5.2. Le positionneur de kesling (1945) :

Le premier précurseur de l'aligneur, le "positionneur dentaire" de HD Kesling, a été introduit en 1945. Fabriqué à partir d'un matériau en caoutchouc souple monobloc, il visait à corriger les divergences dentaires légères telles que l'espacement, les supraclusions résiduelles et les relations mésio-distales ou bucco-linguales. Cependant, ce dispositif présentait des limitations, notamment la dépendance à la coopération du patient, le goût désagréable du matériau en caoutchouc, l'aggravation de la supraclusion et l'absence d'une occlusion appropriée. Malgré cela, Kesling avait déjà retenu la possibilité d'effectuer des mouvements dentaires majeurs en utilisant une série de positionneurs progressivement modifiés. Bien que cette approche ne soit pas encore pratique à l'époque. [12] [14]



Figure 6: Le positionneur de Kesling. [15]

## 5.3. La gouttière invisible de Nahoum :

En 1964, Henry Nahoum a perfectionné la technique de Kesling en développant un appareil sous vide permettant de déplacer les dents en utilisant des matériaux thermoplastiques formés sous vide sur un modèle en plâtre du patient. Nahoum a retenu l'utilisation de cet appareil à la fois comme appareil de rétention et pour réaliser de petits mouvements orthodontiques, tels que des rotations mineures et la fermeture d'espaces. Il a adopté une approche progressive en utilisant une série d'appareils personnalisés pour obtenir progressivement les mouvements dentaires souhaités, en ajustant les dents graduellement dans la cire sur le modèle modifié. À chaque étape, un nouvel appareil de rétention formé sous vide était fabriqué. [12] [16]

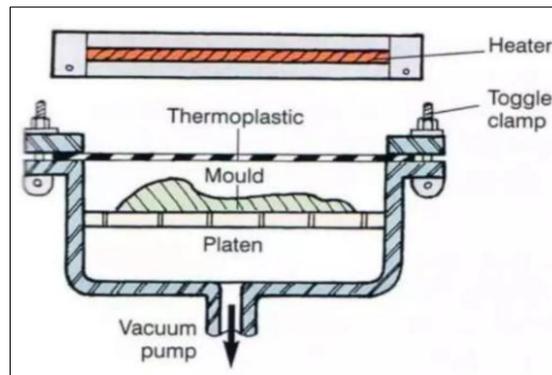


Figure 7: L'appareil de thermofomage sous vide. [13]

#### 5.4. L'invisible Retainer de Ponitz :

Les principaux avantages de ces dispositifs de contention transparents et invisibles sont : une fabrication facile, une insertion rapide, des ajustements minimes au fauteuil et possibilité de réparation à l'aide des pistolets thermiques. À l'époque, ces dispositifs étaient également utilisés comme supports pour les pansements parodontaux, les attelles chirurgicales, les prothèses partielles temporaires, ainsi que pour les attelles destinées aux traumatismes occlusaux et au bruxisme. [16]

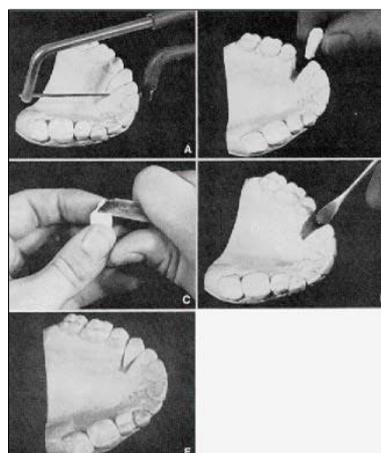


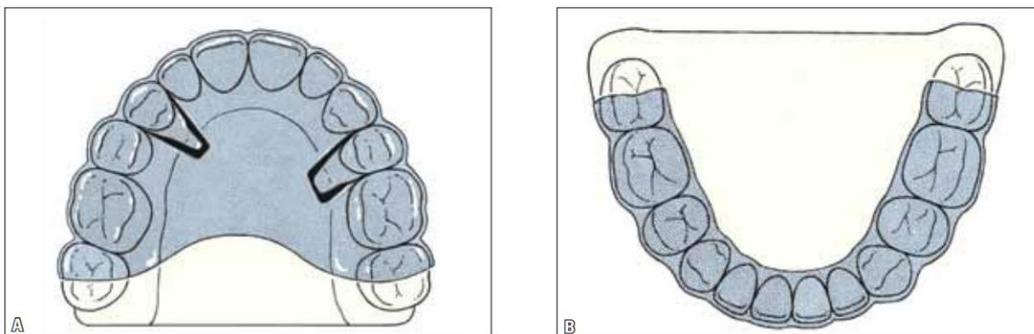
Figure 8: Repositionnement de la canine supérieure droite. [17]

**A. Coupes coniques faites avec une scie de laboratoire. B. Dent arborée du modèle C. Dent taillée. D. Cire fondue placée dans l'espace dentaire. E. Dent temporairement placée en position corrigée.**

## 5.5. L'invisible retainer de Namara :

Mc Namara, en 1985, a présenté la première gouttière thermoformée par pression à visée orthodontique (système Biostar). Son inspiration vient des travaux de Ponitz.[11]

La différence entre la machine Biostar et la précédente machine à vide était qu'elle utilisait une pression d'air positive pour adapter le thermoplastique Biocryl™ à la surface du modèle plutôt que la pression du vide.[16]

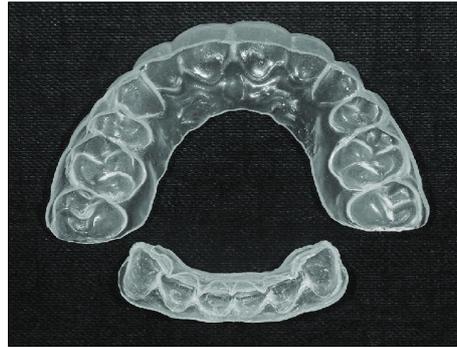


**Figure 9: L'invisible retainer de Namara. [18]**

Mc Namara a finalement conclu que même si les appareils de rétention amovibles transparents ont leurs avantages, ils ne sont pas aussi durables à long terme que les appareils de rétention traditionnels en acrylique ou collés.[12]

## 5.6. Sheridan et le système Essix :

En 1993, John J. Sheridan a présenté l'Essix Retainer, un appareil thermoplastique polyvalent utilisé à la fois comme dispositif de rétention et de positionnement. Fabriqué à partir d'une feuille de copolyester thermoplastique, il est thermoformé avec une pression d'air positive pour obtenir l'épaisseur finale. Contrairement aux approches séquentielles, l'Essix Retainer permet des ajustements progressifs en cours de traitement pour atteindre les objectifs thérapeutiques. Deux méthodes principales sont utilisées pour créer des mouvements dentaires : la modification de l'aligneur et le resurfaçage de la dent. Des ergots et des fenêtres sont intégrés dans l'aligneur pour appliquer une pression ciblée ou créer de l'espace pour le déplacement des dents. [11] [12]



**Figure 10: Essix Retainers.** [19]

## **5.7. Alineurs transparents contemporains :**

Au cours des dernières décennies, les avancées technologiques ont révolutionné le domaine des gouttières orthodontiques. Alors que la fabrication manuelle des gouttières était limitée dans ses possibilités, l'introduction de techniques de conception et de fabrication assistées par ordinateur (CAO/FAO) a permis une approche industrielle dans ce domaine. [12]

Le système Invisalign, développé par Align Technology à partir de l'idée d'introduire des dispositifs transparents modernes sur le marché, a été lancé en 1999 et est devenu largement utilisé par les orthodontistes et les dentistes généralistes. [20]

Ortho Clear, Inman Aligner, Clear Correct et OrthoCaps sont d'autres systèmes d'aligneurs transparents qui ont été développés et améliorés grâce à la technologie CAO/FAO. Ces systèmes combinent les principes développés par des pionniers tels que Remensnyder, Kesling et Nahoum, avec les avantages offerts par les avancées technologiques modernes. Ils offrent des solutions plus simples, plus abordables et plus efficaces pour l'orthodontie, permettant aux patients de bénéficier de traitements plus précis et personnalisés. [20]

## *Chapitre II : Généralités*

### **1. Les particularités chez l'adulte :**

Toute personne, enfant ou adulte, souhaite avoir un joli sourire, un aspect plaisant et une bonne fonction occlusale.

Longtemps considéré comme un traitement réservé à l'enfant, l'orthodontie de l'adulte est aujourd'hui en plein essor grâce à l'amélioration des connaissances et des techniques. Par conséquent, que ce soit pour des motifs esthétiques ou fonctionnels, la demande est de plus en plus importante.

Toutefois, le traitement de l'adulte diffère de celui de l'enfant par quelques particularités qu'il est essentiel de connaître afin de bien mener ce traitement.

En raison de ces différences psychologiques, diagnostiques, biologiques et thérapeutiques, le traitement orthodontique adulte mérite une attention particulière non seulement de la part des orthodontistes, mais aussi des chirurgiens-dentistes, des parodontistes et même des chirurgiens maxillo-faciaux, d'où l'intérêt d'un traitement pluridisciplinaire concerté et cohérent.[21]

#### **1.1. Contexte psychologique :**

La psychologie de l'adulte dans le domaine de l'orthodontie joue un rôle essentiel dans le processus de traitement.

Les adultes sont plus intéressés par les détails comme la durée, la complexité, le nombre de visites, les résultats finals et l'amplitude de correction.

Contrairement aux enfants et aux adolescents, ils sont plus coopératifs dans les conditions de port des appareils orthodontiques, telles que : le port des élastiques, l'hygiène et le respect des rendez-vous. Mais Ils exigent des thérapeutiques plus esthétiques et une durée de traitement plus courte c'est-à-dire, qu'ils exigent les meilleurs résultats en peu de temps [24]

### 1.2. Contexte biologique :

#### ▪ 1.2.1. Absence de croissance :

L'une des caractéristiques essentielles de l'adulte est l'absence de croissance qui modifie les schémas thérapeutiques. Par conséquent, les traitements orthodontiques chez l'adulte permettent d'agir sur les dents et sur les procès alvéolaires mais ont que peu ou pas d'effets sur les bases osseuses.[21], [22]

Lors du traitement des adultes, les appareils orthopédiques ne peuvent pas être utilisés. Cela nécessite souvent une compensation dentaire pour camoufler un déséquilibre squelettique entre des mâchoires mal proportionnées. Si l'orthodontie ne peut fournir une compensation suffisante pour réduire cet écart, une chirurgie orthognatique sera alors la seule autre alternative pour tout corriger.[23]

Par contre, lorsqu'il y a excès de croissance, comme dans les prognathies (classes III), selon la gravité du déséquilibre, il peut être indiqué d'attendre la fin de la croissance pour intervenir. Si un patient présente déjà un déséquilibre extrême à l'adolescence, il serait risqué de le traiter en sachant que la croissance résiduelle puisse causer un nouveau déséquilibre à la fin du traitement. Dans tels cas, il est préférable d'attendre la fin de la croissance et de traiter la malocclusion en une seule phase qui comprend une chirurgie orthognatique. [24]

DR. Behrents a constaté que la croissance cranio-faciale ne s'arrêtait pas au début de l'âge adulte, mais était un processus continu même à des âges plus avancés. Les unités de changement étaient plus petites, bien sûr, mais le changement dans le squelette cranio-facial est devenu le concept opérationnel plutôt que la fin du processus. La quantité de croissance dont nous parlons est importante par rapport à un concept d'absence de croissance chez l'adulte, mais la quantité de croissance qui se produit réellement sur une base annuelle est faible et ne modifiera pas considérablement la mécanothérapie que nous proposons aux patients.[25]

### ▪ 1.2.2. Vieillessement des tissus :

#### 1.2.2.1. Tissus mous :

Au fur et à mesure du vieillissement, les tissus mous présentent des changements importants. Le nez s'affaisse et s'élargit, et le profil devient convexe avec l'âge car le soutien osseux de l'os nasal reste stable. La pointe est épaissie, inclinée vers le bas et vers l'avant, tandis que les lèvres deviennent plus fines et la bouche semble de plus en plus pincée. La commissure labiale descend vers le menton et l'angle nasolabial s'accroît. Le stomion s'abaisse, les sillons nasogéniens sont fortement marqués, et le profil sous-nasal cutanéomuqueux régresse. Les recherches de Behrents montrent que l'âge atténue la biprotrusion, avec l'allongement de la face, la réduction de la vestibulation des incisives supérieures, le nez devenant plus proéminent et les lèvres se rétrécissant.

Tous ces changements liés à l'âge doivent être pris en considération au cours du traitement pour ne pas aggraver ces changements morphologiques.[21]

#### 1.2.2.2. Parodonte superficiel et profond :

Le nombre d'adultes qui subissent un traitement orthodontique global a considérablement augmenté et la prise en charge des adultes est peu différée à celle des adolescents. En effet, les adultes présentent plus souvent des dents plus ou moins délabrées, ce qui peut nécessiter une modification de la planification classique du traitement. Des problèmes tels qu'une usure excessive, des dents manquantes ou des pertes d'attache et d'os suite à une maladie parodontale peuvent être présents. [26]

#### ➤ *Notion de vieillissement parodontal :*

« Le vieillissement est un processus graduel et irréversible de modifications des structures et des fonctions de l'organisme résultant du passage du temps », selon la définition générale donnée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) en ce qui concerne l'odontologie.

Ce phénomène concerne les structures dentaires et péri- dentaires. Les altérations du parodonte sont le résultat des effets du vieillissement physiologique cumulés à l'usure, aux maladies parodontales, aux maladies systémiques et aux effets secondaires de leurs

traitements. De plus, les altérations des réponses immunitaires expliquent les difficultés à maîtriser le processus inflammatoire cliniquement, tandis que, la diminution du pH de la cavité buccale favorise la prolifération des micro-organismes pathogènes. [27], [28]

Ces modifications entraînent des récessions gingivales et une perte d'attache en affectant la gencive, le desmodonte, le cément et l'os alvéolaire.[28]

➤ *Notion de maladie parodontale :*

Les parodontites sont des maladies inflammatoires d'origine bactérienne qui se caractérisent par une destruction progressive des tissus de soutien de la dent. Elles entraînent une perte d'attache et une résorption de l'os alvéolaire, ce qui se manifeste par la formation de poches parodontales et l'apparition de récessions parodontales. [29]



**Figure 11: Maladie parodontale .[30]**

La reclassification des maladies parodontales de l'AAP en 2017 a distingué 3 formes de parodontite :

- Parodontite nécrosante (GUN et PUN)
- La parodontite comme manifestation directe d'une maladie systémique exemple le diabète.
- des Parodontite.[30]

Pour des patients adultes qui ont subi une perte d'attache et de l'os suite à une maladie parodontale, de nouvelles considérations thérapeutiques permettent de réaliser des mouvements dentaires souhaités dans le cadre d'un traitement orthodontique sans générer de

complications parodontales, cela garantit une approche plus sécurisée et efficace pour ces patients. [26]

### 1.3. Particularité thérapeutique :

#### ▪ 1.3.1. Contexte biomécanique :

##### 1.3.1.1. Définition de mouvement dentaire :

Le déplacement dentaire est la base de tout traitement orthodontique, et les phénomènes physiologiques qu'il provoque sont complexes, impliquant des processus tels que la résorption osseuse, le remodelage des tissus gingivaux et des ligaments parodontaux, ainsi que des adaptations au niveau des structures osseuses et dentaires. Ces phénomènes cellulaires qui se produisent visent à rétablir l'équilibre momentanément perturbé par l'application d'une force. [31]

##### 1.3.1.2. Les différents types de mouvement :

Une dent peut se déplacer de l'une des trois manières générales suivantes :

###### ➤ *La translation :*

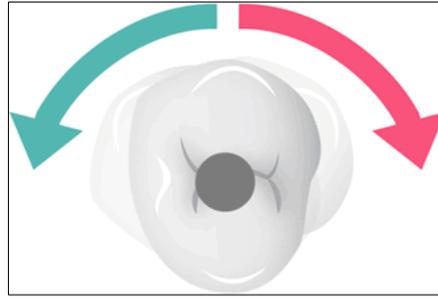
Ou mouvement corporel, se produit lorsque tous les points de la dent se déplacent d'une distance égale dans la même direction. [32]



Figure 12: Mouvement de translation. [33]

###### ➤ *La rotation :*

La rotation indique le mouvement des points de la dent le long d'un arc de cercle, le centre de résistance étant centre du cercle. [32]



**Figure 13 : Mouvement de rotation de la dent. [34]**

➤ ***Rotation et translation combinées :***

Tout mouvement qui n'est pas une translation ou une rotation pure peut être décrit comme une combinaison de ces deux formes de mouvement.[32]

### **1.3.1.3. Biomécanique orthodontique :**

L'os des adultes est moins réactif aux forces mécaniques, ce qui augmente le risque de perte d'attache et de l'os marginal en cas d'infections gingivales légères, par rapport aux adolescents. La perte osseuse marginale et la récession gingivale sont fréquentes chez les adultes. La fonction occlusale peut présenter une dystrophie de l'os de soutien, et la perte d'attache entraîne un déplacement apical du centre de résistance, ce qui augmente ainsi la distance du centre de résistance et le point d'application de la force. Cela provoque une augmentation du moment de basculement produit par la force donnée. Par conséquent, un moment compensateur plus important est nécessaire pour équilibrer ce moment de basculement accrue et pour déplacer une dent compromise sur le plan parodontal.[35]

➤ ***La force :***

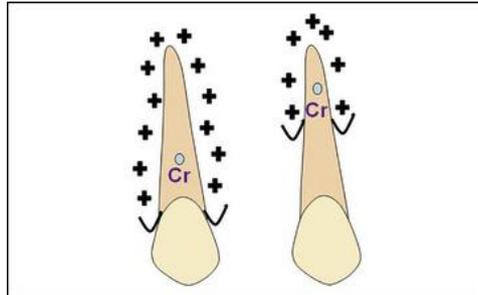
Une force est toute action qui entraîne un changement de forme et de mouvement d'un objet. Les forces sont mesurées en once, grammes ou newtons. En orthodontie, l'unité de force généralement utilisée est le gramme.[36]

➤ ***Centre de résistance :***

C'est le point par lequel une force doit passer pour déplacer librement un objet de manière linéaire. Le centre de résistance d'une dent à une racine se trouve sur l'axe longitudinal de la dent, probablement entre un tiers et la moitié de la longueur de la racine

apicale à la crête alvéolaire. Dans le cas d'une dent à racines multiples, le centre de résistance se situe probablement entre les racines, à 1 ou 2 mm apical à la furcation.

Le CR varie en fonction de la dent et du volume osseux qui l'entoure. Par exemple, en cas de résorption osseuse, le centre de résistance se trouve plus près de l'apex.[32]



**Figure 14: Déplacement du centre de résistance (CR) en direction apicale en cas de résorption osseuse. [37]**

➤ **Centre de rotation :**

Un centre de rotation d'une dent (CRO) est défini comme un point associé à la dent. La position du CRO dépend des forces appliquées. [38]

➤ **Moment :**

Mesuré comme une force linéaire multipliée par la distance perpendiculaire au centre de rotation ( $M = F * D$ ). [39]

➤ **Couple :**

Est une paire de forces parallèles, égales et opposées, appliquées à une dent et capable de faire tourner la dent autour d'un centre de rotation coïncidant avec le centre de résistance.[40]

### 1.3.1.4. Réponses biologiques au déplacement :

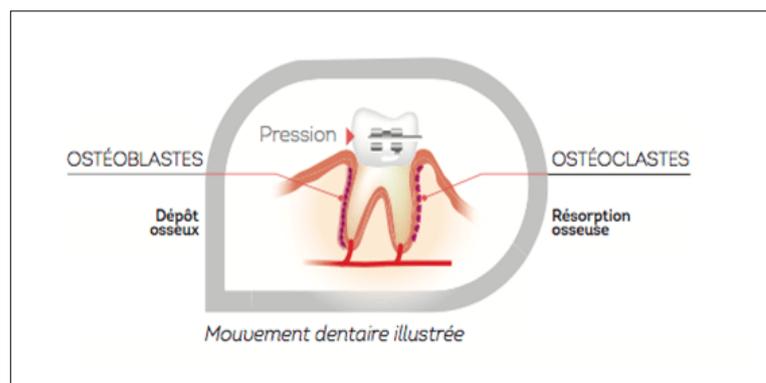
Le mouvement des dents au cours d'un traitement orthodontique est le résultat de l'application de forces contrôlées sur les dents.

### ➤ *Le côté de pression :*

Opposé à l'application de la force, se caractérise par une désorganisation du ligament alvéolo-dentaire avec une diminution de la production de fibres et de la réplication cellulaire due à la constriction vasculaire et une fuite de la substance fondamentale du côté tension. Il apparaît également des zones d'ostéoclasie dans les espaces médullaires visant à maintenir constante l'épaisseur du ligament. Cependant, si la force appliquée est trop importante, la dent entre en contact avec l'os, créant des zones de pression très intenses et l'apparition de zones hyalines qui seront par la suite résorbées de façon indirecte à partir des espaces médullaires adjacents.

### ➤ *Le côté de tension :*

Lorsque la force est appliquée le ligament parodontal s'élargit, mettant en tension les fibres desmodontales. Cela entraîne une stimulation de la réplication cellulaire, une augmentation de l'activité proliférative avec augmentation éventuelle de la production de fibres et dépôt de cristaux d'hydroxyapatite.[41]



**Figure 15 : Réponses biologiques lors du déplacement dentaire. [42]**

#### **1.3.1.5. La biomécanique chez l'adulte :**

L'âge n'est pas une contre-indication au traitement orthodontique. Cependant, il est important de noter que chez les personnes âgées, la réponse des tissus aux forces orthodontiques, y compris la mobilisation des cellules et la conversion des fibres de collagène, est beaucoup plus lente que chez les enfants. De plus, chez l'adulte, des zones hyalines se forment plus facilement sur le côté de pression d'une dent déplacée orthodontiquement, et ces zones peuvent temporairement empêcher la dent de se déplacer dans la direction prévue. Ce retard dans le déplacement de la dent varie, avec l'application de forces légères, longues

périodes de temps et des forces plus importantes. La zone hyaline est éliminée par la régénération du LAD qui se produit à partir de la réorganisation de la zone par la résorption à partir des espaces de la moelle (résorption sous-jacente) et les zones adjacentes de LAD non affectées et l'os alvéolaire. Une fois la zone hyaline est retirée, les dents peuvent à nouveau bouger.[43]

### ▪ 1.3.2. L'ancrage chez l'adulte :

L'ancrage orthodontique est défini comme la capacité de restreindre le mouvement de certaines dents pour obtenir le mouvement d'autres unités dentaires.[44]

Chez l'adulte, l'ancrage naturel est souvent réduit et le nombre de dents présentes est réduit. Les crêtes alvéolaires sont résorbées. La densité osseuse est plus basse, les rapports d'occlusion sont plus instables, l'usure et la migration dentaire est plus importante et la fréquence des maladies parodontales entraîne une mobilité accrue. L'ancrage est donc une question clé qui doit être prise en compte et abordée avant que le traitement ne commence.[22]

Creekmore a été l'un des premiers en 1983 à décrire un ancrage squelettique et, depuis, ces dispositifs sont apparus chez les adultes. Pour Melsen et Costa, qui les classent en trois catégories. (Les implants axiaux, les mini-vis et les mini-plaques). Ces nouveaux dispositifs d'ancrage permettent d'effectuer des mouvements d'ingressions qui rendent obsolètes les forces extra-orales et les dispositifs d'ancrage amovibles conventionnels.[44]

#### 1.3.2.1. Les mini-vis :

Aujourd'hui, grâce à l'apparition des mini-vis orthodontiques très pratiques, faciles à poser et à déposer, l'ancrage « absolu » est devenu temporaire (Costa et coll., 1998). Leur ostéo-intégration n'est pas indispensable, c'est surtout une question de rétention mécanique, elles peuvent être mises en charge immédiatement et retirées très facilement..[45]

L'utilisation des vis d'ancrage est illimitée et dépend des besoins de l'orthodontiste. Cela améliore les résultats du traitement. Lorsque des mécaniques traditionnelles obtiennent les mêmes effets, il n'est pas nécessaire d'utiliser des vis d'ancrage pour éviter tout sur-traitement.

Les mini-vis permettent de mieux contrôler les déplacements dans les trois directions de l'espace et donc de satisfaire certains objectifs. [22]

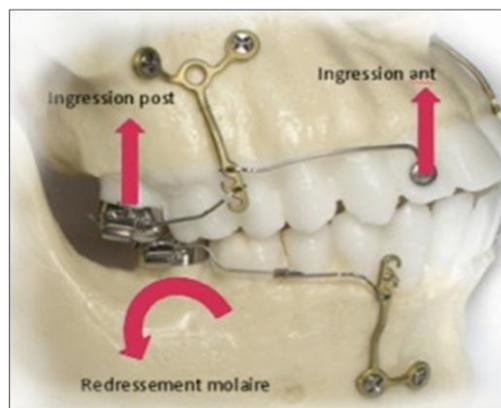


**Figure 16: Mini-vis. [46]**

### 1.3.2.2. Les plaques d'ancrage :

La plaque d'ancrage est un dispositif fixé à l'os au-dessus des dents. Le praticien utilisera sur cet appareil pour déplacer les dents et éviter les déplacements parasites.

Les plaques sont laissées en place tout au long du traitement orthodontique, ensuite enlevées sous anesthésie locale. Elles sont fabriquées en titane, métal très résistant utilisé pour la plupart des prothèses médicales.[47]



**Figure 17: Les plaques d'ancrage.[47]**

### 1.3.2.3. Les implants axiaux :

Les implants axiaux sont les mêmes que ceux en implantologie prothétique. Une fois qu'ils sont intégrés à l'os (l'ostéo-intégration), ils servent d'ancrage aux forces orthodontiques.

Bien que leur taux d'échec soit très bas, ils ont de nombreux inconvénients : leur taille les prédispose à être insérés dans des zones édentées, leur mise en place nécessite du temps opératoire et des étapes de laboratoire pour connecter l'implant aux dispositifs d'ancrage. De plus, une période de latence de 3 mois est nécessaire pour permettre l'ostéo-intégration et la mise en charge de l'implant, et son coût et son retrait chirurgical est un obstacle s'il n'est pas utilisé comme implant prothétique en fin de traitement en plus leur dépose chirurgicale qui empêche leur utilisation.[48]



**Figure 18: Implant axial. [49]**

### ▪ 1.3.3. Dispositifs du traitement :

Contrairement à la dentition de l'enfant qui est en pleine croissance et donc en mouvement, celle de l'adulte est déjà consolidée, ce qui la rend moins souple. Le traitement orthodontique se fait par conséquent plus doucement, ce qui allonge un peu sa durée. selon le but du traitement (écarter ou resserrer les dents, les déplacer, endiguer le déchaussement...), cette durée peut varier de quelques mois à un ou deux an (s).[50]

Comme chez les enfants et les adolescents, il existe une grande variété de traitements orthodontiques disponibles chez les adultes, en fonction de leur besoins spécifiques. Il existe trois dispositifs orthodontiques majeurs : les boîtiers externes (bagues), les boîtiers linguaux et les gouttières.

Les boîtiers externes sont les appareils dentaires les plus répandus. Ils sont en forme de boîtes en métal ou en céramique fixées aux dents et reliées les unes aux autres par un fil.

Les boîtiers linguaux sont très similaires, mais sont positionnés sur la face interne des dents, ce qui les rend presque invisibles. Ils sont très discrets, mais également plus douloureux et plus coûteux, car leur pose est plus délicate.

Enfin, les gouttières sont des appareils plus confortables et amovibles, parfois maintenus en place par de petits attaches cellés aux dents.[51]

### ▪ 1.3.4. La contention chez l'adulte :

La contention intervient après un traitement orthodontique, c'est un système mécanique qui vise à fixer, maintenir et stabiliser dans le temps les relations dento-dentaires pour restreindre la récurrence et la migration secondaire. Chez l'adulte, la contention est considérée comme la phase finale du rétablissement de la fonction occlusale à la fin du traitement et dépend de nombreux facteurs.[52]

Le choix du moyen de contention varie selon le type de malocclusion initiale, mouvements dentaires effectués de l'état de santé des tissus de soutien, de la motivation du patient et de l'âge du patient.[53]

En général, les contentions fixées collées sont préférées pour des raisons de confort, mais aussi parce qu'elles contribuent à assurer à la fois la stabilité, l'esthétique et la fonction. Les dispositifs de contentions amovibles sont pour la plupart temporaires et comprennent des gouttières thermoformées, les spring retainers, les plaques de Hawley et les tooth positionners. [21]

## 2. Les gouttières dentaires :

### 2.1. Définition :

Une gouttière dentaire est un appareil dentaire amovible, réalisé sur-mesure à partir des empreintes dentaires qu'elle va épouser parfaitement la forme des dents, afin de

traiter quelques problèmes qui concernent l'alignement des dents, l'éclaircissement, le bruxisme ....etc.

Elles sont fabriquées à partir de matériaux plastiques transparents. Ce matériau spécifique, son épaisseur et sa méthode de fabrication peuvent varier en fonction de son usage .[54], [55]

### **2.2. Types de gouttière :**

On classe ces gouttières selon leur utilisation :

#### **▪ 2.2.1. L'orthèse d'avancée mandibulaire (OAM) :**

C'est un dispositif dentaire amovible réalisé sur mesure qui permet de maintenir la mandibule en position avancée pendant le sommeil, libérant ainsi le passage de l'air au niveau du pharynx. Son principe est de créer une force de propulsion à partir du maxillaire vers la mandibule.

C'est un hyper-propulseur mandibulaire qui doit être rigide, sa réalisation doit privilégier les techniques et les matériaux qui favorisent la plus grande précision d'adaptation et la meilleure dureté et rigidité. Cet appareillage est indiqué, lorsque l'indice d'apnées-hypopnées obstructives (IAHO) est compris entre 15 et 30 en l'absence de comorbidité cardiovasculaire grave associée. Il est aussi indiqué, en cas de SAS sévère (IAH supérieur à 30/heure) en cas de refus ou intolérance à la PPC.

Les contre-indications de l'OAM sont les pathologies de l'ATM, une parodontite, un mauvais état buccal, ouverture buccale limitée et enfin une propulsion maximale active inférieure à 6mm. Les contre-indications peuvent aussi relever de pathologies générales telles que les troubles psychiatriques. [56], [57]

#### **▪ 2.2.2. Gouttières occlusales :**

Selon Mc Neill, la première gouttière occlusale a été écrite en 1881 par Goodwillie. Ces gouttières constituent un des moyens thérapeutiques non ou faiblement invasifs de prise en charge des dysfonctionnements de l'appareil manducateur (DAM).

Elles doivent être de recouvrement complet qui assure une relation intermaxillaire continue sans inoclusion antérieure ou postérieure, et aussi dur (une gouttière souple génère une relation intermaxillaire non contrôlée).[58]

### **2.2.2.1. La gouttière de reconditionnement musculaire :**

Cette gouttière est indiquée dès que l'origine musculaire des algies et des dysfonctions est avérée. En cas d'une destruction coronaire ou une reconstruction inadéquate, l'égression, la version ou la migration des dents génèrent une occlusion d'inter-cuspidation maximale instable, qui place la mandibule dans une position déviée ou forcée par rapport au maxillaire. Il s'agit d'une plaque thermoformable et semi-rigide, recouvrant l'ensemble des faces occlusales et découpée à la limite des collets des dents.

La surface occlusale est lisse au niveau des dents postérieures et présente un renforcement antérieur, de canine à canine, qui assure la désocclusion postérieure dans les mouvements excentrés. Les contacts doivent être généralisés avec l'arcade antagoniste, seuls les points de contact des cuspides d'appui antagonistes doivent être conservés pour minimiser les stimulations proprioceptives desmodontales, qui sont l'origine de l'hyperactivité musculaire.

Elle est portée essentiellement la nuit, et doit être rectifiée régulièrement et son port ne dépassera pas trois mois.

- **Réalisation :**

Cette gouttière est confectionnée au laboratoire à partir de modèles en plâtre des arcades dentaires montés sur un articulateur semi-adaptable par l'intermédiaire de l'arc facial, permettant de conserver comme référence le plan axio-orbitaire tout au long du traitement afin d'organiser les mouvements mandibulaires, le respect du guide antérieur et canin est impératif .[59]

### **2.2.2.2. La gouttière occlusale d'antéposition (GAP) :**

Il s'agit d'une gouttière occlusale postérieure partielle générant un repositionnement mandibulaire vers l'avant, qui doit présenter une surface occlusale indentée avec un véritable

verrou prémolaire et permettre des contacts antérieurs sur les dents naturelles afin de conserver les guidages et le control proprioceptif.

Elle peut être employée pour décompresser la zone rétro-condylienne. La GAP doit alors être portée continuellement (24 heures sur 24, même pendant les repas) pendant environ trois mois.[58]

### ▪ 2.2.3. Gouttière de blanchiment :

Le but de cette gouttière est de maintenir le produit de blanchiment en contact avec les dents. Il existe des différentes conceptions qui sont indiquées selon la viscosité du gel de blanchiment.

La gouttière contient des réservoirs qui seront garnies de ce gel, qui sont efficaces grâce à sa viscosité qui permet à la gouttière de s'installer près du collet des dents et aussi de prévenir l'inactivation du produit par les enzymes salivaires présentes dans la région cervicale des dents. [60]

### ▪ 2.2.4. Gouttière de fluoration :

Ces gouttières sont thermoformées par le prothésiste à partir d'empreintes. Elles sont indiquées dans les cas suivants :

- L'enfant de 6 à 9 ans présentant un risque carieux individuel élevé, dont le traitement est pris en charge jusqu'à deux fois par an.
- Le patient atteint de l'hypominéralisation molaire incisive MIH, ou défaut de minéralisation et malformation de l'émail.
- Le patient atteint de cancer de la cavité orale dont le traitement prévoit une irradiation de la sphère ORL. Dans ce cas, la fluoration est en général poursuivie à vie.
- Dans le cas d'hyposialie importante, la salive n'assurant plus son rôle protecteur, on la retrouve dans certaines pathologies auto-immunes, cancers de la parotide ou en tant que séquelle d'irradiation ORL.[61]

### ▪ 2.2.5. Gouttière chirurgicale :

Après avoir effectué une simulation à l'aide de plaquettes, les modèles sont isolés avec un vernis séparateur. Ensuite, une plaque de résine diméthacrylate photo-polymérisable, telle que le Triad VLC de Dentsply, est placée entre les modèles. Cette plaque est ensuite façonnée à l'aide des doigts ou d'une spatule pour créer la gouttière.

#### 2.2.5.1. La gouttière intermédiaire :

Cette gouttière trouve son utilité uniquement dans les cas de chirurgie bimaxillaire. Elle est employée par le chirurgien pour réaliser le premier temps chirurgical, c'est-à-dire pour placer un élément mobile par rapport à un élément repère.

#### 2.2.5.2. La gouttière finale ou terminale :

Cette gouttière permet au chirurgien de placer les arcades avec une occlusion déterminée en collaboration avec l'orthodontiste, globalement en préopératoire. Elle trouve ses indications dans les cas suivants: lorsque la préparation orthodontique est insuffisante, lorsqu'on a un manque de stabilité post-opératoire, lorsqu'on a des édentements non compensés assurant un calage insuffisant.[62]

### ▪ 2.2.6. Gouttière de contention :

C'est une Gouttière thermoformée transparente amovible, réalisée sur mesure à partir d'une empreinte qui maintient les dents exactement dans la position qu'elles avaient au moment de la dépose de l'appareil. [63]

Il existe différents types de gouttières de contention, notamment les gouttières transparentes amovibles telles que les Essix ou les Vivera. [65][67]

Les gouttières de contention sont utilisées pour maintenir les dents en position après un traitement d'alignement dentaire à cause de nombreux facteurs, tel que : les phénomènes de vieillissement naturels des dents ; l'usure occlusale ; l'apparition de parodontite ; une mauvaise déglutition ; la qualité du résultat de fin de traitement orthodontique peut largement être perturbée. La gouttière de contention joue un rôle majeur pour garder les résultats initiales du traitement orthodontique .[64]

### ▪ 2.2.7. Gouttière d'alignement :

Les gouttières d'alignement sont des appareils orthodontiques en plastique qui recouvrent l'ensemble des dents. Elles sont personnalisées pour chaque patient, en prenant en compte leur morphologie dentaire spécifique. Ces gouttières permettent de corriger efficacement la plupart des troubles orthodontiques.[67]

## *Chapitre III : Les aligneurs*

### 1. Définition des aligneurs :

Les aligneurs sont une série de gouttières thermoplastiques transparentes utilisées pour obtenir le mouvement dentaire souhaité. Ces gouttières amovibles, générées par ordinateur, sont changées toutes les dix jours jusqu'à ce que l'alignement et l'occlusion souhaités soient obtenus.[68]



Figure 19: Clear aligner. [70]

### 2. Démarche de diagnostic :

#### 2.1. L'anamnèse :

L'interrogatoire recherche essentiellement : Les renseignements généraux (nom, âge, sexe), le motif de consultation, les antécédents médicaux et stomatologiques, les antécédents personnels et familiaux, la motivation, le niveau scolaire, les tics et les habitudes de vie. Une attention particulière doit être accordée aux allergies.[70]

#### 2.1. L'examen clinique :

##### ▪ 2.1.1. L'examen exo buccal :

##### ➤ *Examen du visage, de face et de profil :*

Cela comprend l'examen de profil pour vérifier s'il est convexe ou concave, ainsi que la forme du visage (brachycéphalie, mésofacial ou dolichocéphalie). L'examen de la symétrie faciale du patient est très important pour différencier les patients qui pourraient nécessiter une intervention chirurgicale pour améliorer l'asymétrie du visage du patient et, par conséquent, la

planification du traitement orthodontique-orthognathique. De plus, l'examen clinique extra-buccal comprend l'examen des articulations temporo-mandibulaires (ATM) qui est réalisé par la palpation pré auriculaire.[71]

➤ ***Examen du sourire :***

On évalue plusieurs éléments, notamment : la ligne du sourire, la position des incisives centrales maxillaires par rapport à la lèvre supérieure (stomion), le milieu inter-incisif, la position des collets dentaires (sourire gingival), les corridors buccaux, la position et la projection des lèvres.[72]

▪ **2.1.2. L'examen endo buccal :**

➤ ***Examen parodontal :***

▪ ***Hygiène et état dentaire :***

L'hygiène dentaire est contrôlée afin de mettre en place une motivation à l'hygiène avant tout traitement, si nécessaire. On recherche la présence de caries, d'obturations et de dents extraites.

On apprécie également la forme des arcades dentaires. Elles sont souvent paraboliques mais peuvent être en U, V, ou en lyre

▪ ***État parodontal :***

L'examen parodontal permet de mettre en évidence d'éventuelles atteintes du parodonte : les gingivites, les récessions gingivales, associées parfois à certaines dystopies dentaires, ainsi que les parodontites. De plus, les caractéristiques du parodonte du patient (telles que l'épaisseur du parodonte superficiel et profond, la hauteur de gencive attachée) et l'insertion des freins et des brides sont évaluées et les risques parodontaux sont estimés. [70]

▪ **2.1.3. L'examen de l'occlusion :**

L'examen de l'occlusion comprend :

➤ **L'examen statique :**

- **Étude des relations transversales** : la relation des secteurs latéraux (occlusion normale, inversée, exagérée) ; la coïncidence des milieux inter-incisives entre elles et avec le plan sagittal médian.
- **Étude des relations antéro-postérieures** : la relation des molaires (classe d'Angle) ; la relation des canines ; la relation des incisives (surplomb).
- **Étude des relations verticales** : pour les secteurs latéraux, on examine les recouvrements et les béances entre les dents. Pour le secteur antérieur, on évalue le recouvrement des dents.[73]

➤ **L'examen dynamique :**

IL implique l'évaluation des mouvements de la mâchoire du patient, y compris l'ouverture, la fermeture, les mouvements latéraux et de broyage.

Lors de cet examen, les courbes de Spee et de Wilson, destinées à obtenir une désocclusion fonctionnelle lors des mouvements extrêmes, et ainsi protéger les articulations, doivent être observées afin de savoir s'il est nécessaire de les reconstruire ou non.[74]

▪ **2.1.4. L'examen fonctionnel :**

L'examen fonctionnel comprend une évaluation des fonctions (déglutition, respiration, phonation, mastication). Si nécessaire, le patient peut être référé à une thérapie myo-fonctionnel pour un suivi spécifique dans ce domaine.

▪ **2.1.5. Les examens complémentaires :**

**2.1.5.1. La photographie :**

➤ ***Le matériel nécessaire :***

Les photographies numériques sont maintenant facilement accessibles grâce aux Smartphones, tablettes, appareils photo et plus récemment les appareils photo sans miroir.

Cependant, lorsqu'il s'agit de photographies au cabinet dentaire, il est essentiel de garantir leur haute qualité, leur standardisation, leur analyse minutieuse, leur sauvegarde méthodique et leur stockage confidentiel en tant que données médicales. Cela ne peut être réalisé qu'en utilisant des appareils photo numériques à objectif unique reflex (DSLR).[75]

Les composants de base d'un appareil photo pour des photos dentaires de haute qualité : un appareil photo, un boîtier, un objectif et un système de flash. Les types les plus couramment utilisés sont les appareils compacts "point and shoot" et les appareils photo numériques à objectif unique reflex (DSLR). Canon et Nikon sont les marques les plus populaires, mais de bons résultats peuvent également être obtenus avec des Sigma et Tamron.[76]

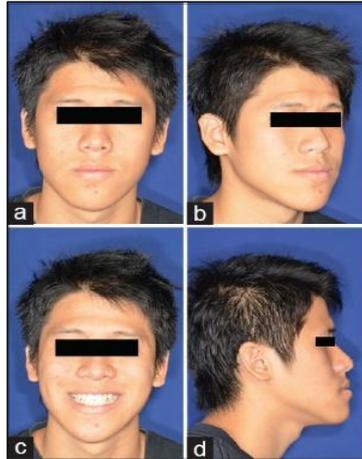


**Figure 20: Systèmes de caméras adaptés pour la photographie dentaire :**

**a. Système complet Canon. b. Boîtier reflex numérique Nikon, objectif macro Tamron 90mm et flash annulaire Sigma. [76]**

➤ ***La photographie extra buccale :***

Lorsqu'un patient se présente pour un traitement orthodontique, il est nécessaire de réaliser une série de photographies extra-buccales. Ces photographies comprennent, entre autres, une vue de face, une vue oblique du côté droit et un profil complet du côté droit. Lors de la préparation de la photographie du visage, il faut faire attention au fond et à l'éclairage environnant. Il est important de conserver le même arrière-plan au fil du temps et de maintenir une distance constante entre le patient et l'opérateur afin d'assurer la reproductibilité et la cohérence si importantes dans la photographie clinique.[75]



**Figure 21: Photographies extra-buccales avant traitement. [77]**

➤ *La photographie intra buccale :*

Il est préférable que le patient soit assis sur le fauteuil dentaire lors de la prise de photographies, car cela offre plus de confort et permet un meilleur contrôle de son positionnement.

Pour les photos latérales, il est important de les prendre avec une inclinaison exacte de 90 degrés. Si des photos latérales prises sous un autre angle sont envoyées, il sera difficile de vérifier si le technicien a ajusté l'occlusion en fonction de la véritable situation du patient. À cet égard, il convient de noter que les "dents" seront positionnées par le système à partir des photos, de sorte qu'une photo de mauvaise qualité pourrait entraîner une occlusion initiale "fausse". Si cela n'est pas identifié dès le départ, cela pourrait conduire à un plan de traitement "faux" ou inapproprié.

Sur la vue frontale intra-orale, il est possible de vérifier les lignes médianes supérieure et inférieure, ce qui est important pour l'évaluation de l'occlusion.

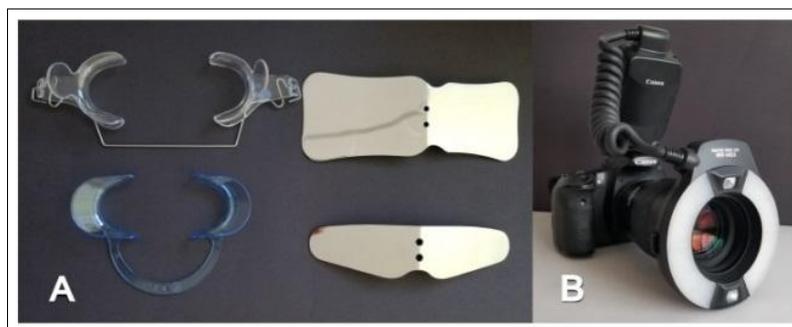
Les photographies occlusales doivent être prises avec des marques de papier articulé pour aider le technicien à établir l'occlusion initiale de manière précise.[78]



**Figure 22: Photographies intra buccales :**

- a) Intercuspidation maximale, b) Profil dentaire, c) Arcade supérieure, d) Arcade inférieure, e) Latéral droit, f) Latéral gauche. [79]

La photographie intra-orale nécessite l'utilisation des accessoires permettant de rétracter les tissus mous, afin d'obtenir une vue claire de la dentition. Des écarteurs de joues, des miroirs buccaux et des miroirs occlusaux sont nécessaires, car il n'est pas toujours possible d'ouvrir la bouche autant que nécessaire pour obtenir les photographies cliniques souhaitées.[75]



**Figure 23: Principaux équipements utilisés pendant la procédure.**

- (A) Écarteurs de joues et de lèvres de type Spandex et fil métallique et miroirs occluso-buccaux ; (B) Appareil photo DSLR avec Ring-Lite. [80]

### 2.1.5.2. Les empreintes :

#### ➤ *Les empreintes en PVS :*

Les silicones par addition, également connus sous le nom de polyvinylsiloxanes (PVS), sont les matériaux d'empreinte qui offrent actuellement la meilleure stabilité dimensionnelle. Ils résistent à l'exposition à différentes conditions de température et d'humidité sur de longues périodes. De plus, les silicones par addition ont une capacité de reproduction des détails et une élasticité optimale.

C'est pour cette raison que le silicone par addition est aujourd'hui le matériau de choix pour les empreintes des gouttières invisibles. La technique la plus couramment utilisée est :[81]

#### ▪ *La Wash technique : technique en 2 temps :*

La Wash technique correspond à une prise d'empreintes en deux temps, utilisant deux matériaux de viscosité différente appliqués successivement.

Dans un premier temps, on utilise un matériau de haute viscosité "putty" pour réaliser une empreinte primaire. Cette étape permet de capturer les contours généraux des structures buccales. Les détails des zones interdentaires sont éliminés dans cette empreinte primaire pour éviter toute gêne lors de la remise en place de l'empreinte dans la bouche du patient.

Dans un second temps, des événements sont créés de chaque côté (palatin, lingual, vestibulaire) de l'empreinte. Ces événements permettent à l'excès de matériau de basse viscosité, appelé "light", de s'écouler.

Une fois les événements réalisés, l'empreinte est replacée dans la bouche du patient et maintenue en place sans pression jusqu'à ce que le matériau durcisse.[82]



**Figure 24: Empreinte wash technique.[83]**

➤ *Les empreintes numériques :*

Le numérique prend de plus en plus de place dans le domaine de l'orthodontie, avec la multiplication des caméras intra orales permettant l'acquisition d'empreintes numériques. Parmi les marques populaires de ces caméras, on retrouve Trios® de 3Shape, True Definition® de 3M, Lythos® d'Ormco, iTero® d'Align Technology, Cerec Omnicam® de Sirona et Condor®[84]

Il est possible aujourd'hui d'obtenir un modèle numérique en scannant directement en bouche les arcades du patient à l'aide de ces caméras intra orales sans avoir besoin d'utiliser des matériaux physiques et chimiques. Le remplacement des empreintes analogiques par des enregistrements effectués au moyen des caméras intra-orales, représente une alternative attrayante en orthodontie, à condition que ces caméras remplissent des critères de facilité d'utilisation et présentent des propriétés comparables, voire supérieures, aux techniques traditionnelles.[85]



**Figure 25 : Scanner intra oral. [86]**

▪ ***La réalisation de l’empreinte :***

Trois étapes sont nécessaires à l’acquisition complète de l’empreinte : l’enregistrement de l’arcade inférieure, puis de l’arcade supérieure, et enfin des mordus droit et gauche.

Lors de l’enregistrement de l’arcade inférieure, il est important de survoler l’intégralité des surfaces dentaires avec la caméra, en suivant un parcours précis pour gagner du temps. Les surfaces occlusales, linguales et vestibulaires doivent être enregistrées.

Pour l’enregistrement de l’arcade supérieure, les surfaces occlusales, vestibulaires et, si nécessaire, les surfaces palatines et du palais doivent être enregistrées.

Enfin, pour l’enregistrement des mordus droit et gauche, il est essentiel de capturer les contacts entre les dents supérieures et inférieures lors de la fermeture de la bouche.[84]

**2.1.5.3. Modèles d’étude :**

Ils existent deux types de modèles :

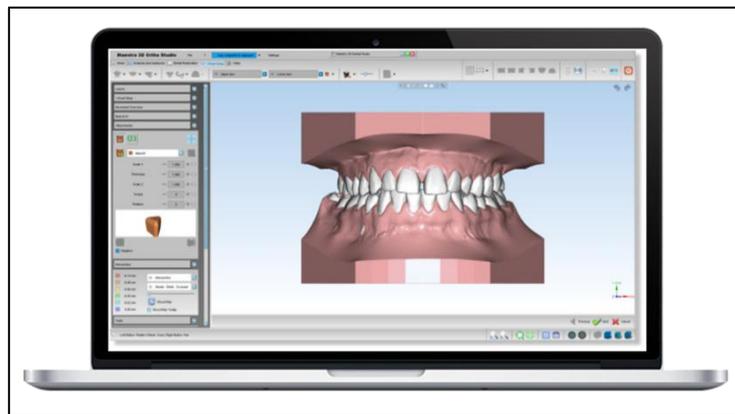
➤ ***Les modèles en plâtre :***

Ils sont utilisés pour évaluer l’alignement du patient, la largeur de l’arcade, l’occlusion, la masse dentaire et les tissus mous. Ils peuvent être obtenus à partir d’une empreinte en alginate.[68]

### ➤ *Les modèles numériques :*

Peuvent effectivement être créés à l'aide de différents scanners intra-oraux à lumière ou à laser qui ont été présentés aux orthodontistes et aux dentistes au cours des deux dernières années. Certains de ces scanners intra-oraux sont iTero et IOC de Cadent.

Des publications récentes ont en effet confirmé que l'utilisation de modèles numériques d'étude est plus rapide que celle des modèles en plâtre. En utilisant des scanners intra-oraux, les dentistes et les orthodontistes peuvent obtenir des modèles numériques en quelques minutes, tandis que la réalisation de modèles en plâtre nécessite des étapes de prise d'empreinte, de coulée du plâtre et de temps de séchage, ce qui peut prendre plus de temps.[71]



**Figure 26: Moulage de présentation avec socle virtuel. [87]**

### ➤ *Les modèles imprimés en 3D :*

L'impression des modèles 3D de configuration virtuelle permet de créer des modèles physiques en série grâce à la technologie de fabrication assistée par ordinateur (FAO). Cette technologie utilise des méthodes de fabrication soustractive telles que le fraisage ou additive comme l'impression 3D. Actuellement, l'impression tridimensionnelle est la méthode prédominante utilisée pour fabriquer des modèles orthodontiques.[88]



**Figure 27: Modèles imprimés en 3D. [89]**

### 2.1.5.4. La radiographie :

#### ➤ *Panoramique* :

La radiographie panoramique est une technique d'imagerie largement utilisée en dentisterie et peut constituer un outil diagnostique précieux.[90]



**Figure 28 : Radio panoramique. [90]**

#### ➤ *Céphalométrie* :

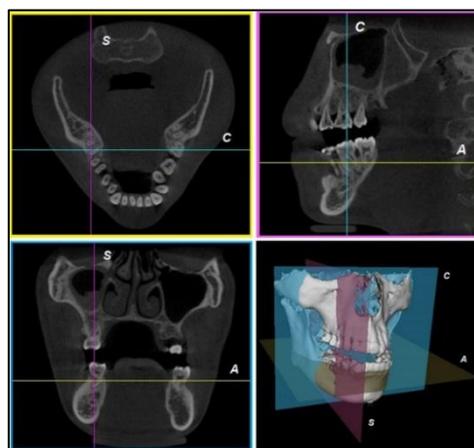
La céphalométrie est une technique de diagnostic qui permet d'établir la relation entre les structures cranio-faciales à l'aide d'une radiographie. Cette radiographie est un élément essentiel du matériel de diagnostic standard pour tous les cas nécessitant des corrections orthodontiques majeures (traitement complet).[91]



**Figure 29: Radio céphalométrique. [92]**

➤ **CBCT :**

Les images CBCT pourraient être utilisées pour créer les modèles virtuels, éliminant ainsi la nécessité de prendre et d'envoyer des empreintes et d'enregistrer l'occlusion. Ces informations pourraient être transférées par voie électronique à certains laboratoires, tels qu'Align Technology, permettant ainsi de réaliser virtuellement les mouvements dentaires souhaités. Cette communication peut se faire par e-mail entre l'orthodontiste et le laboratoire. Les appareils de rétention pourraient également être fabriqués à partir des données informatiques du laboratoire, reflétant la position finale des dents.[68]



**Figure 30: Reformulation multiplanaire. A, C et S indiquent les lignes d'intersection correspondant respectivement aux plans axial, coronal et sagittal.[93]**

### **2.3. Synthèse de diagnostic et objectifs de traitement :**

Le principe de la synthèse diagnostique est de transformer chaque élément diagnostique, tel que les symptômes et les signes cliniques et radiographiques, en une hypothèse diagnostique.

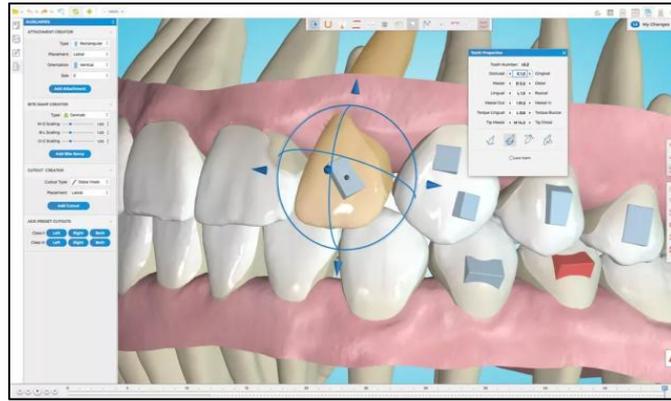
Une fois le diagnostic posé et les objectifs de traitement déterminés, l'orthodontiste proposera alors des solutions au patient pour répondre à ses attentes et corriger le problème. Ces objectifs doivent être déterminés en collaboration entre le patient et l'orthodontiste.

### **3. Plan du traitement :**

#### **3.1. Bilan et setup du traitement :**

Grâce au modèle 3D obtenu de l'empreinte numérique et des éléments diagnostiques, l'orthodontiste effectue une simulation des mouvements dentaires jusqu'au résultat final. Une visualisation supplémentaire des racines dentaires est désormais possible en important et en superposant les données de tomodensitométrie (CT). Après avoir analysé toutes les informations recueillies, l'orthodontiste déterminera avec précision la position parfaite de chaque dent dans les 3 dimensions de l'espace au regard de repères occlusaux et esthétiques (sourire, profil, forme des dents...). Il mettra alors au point le mécanisme le plus efficace pour déplacer les dents de la position initiale vers la position souhaitée.[88], [94]

Une fois les objectifs et les mécanismes identifiés, ces informations sont simulées numériquement dans des outils numériques de planification de traitement tels que Clin Check. Les orthodontistes l'utilisent pour analyser et modifier la position de toutes les dents et déterminer la séquence et la vitesse de déplacement des dents de manière individualisée pour chaque patient. Comme tout outil, il faut une certaine maîtrise pour bien l'utiliser et éviter ses pièges. L'expérience du praticien est un facteur décisif dans l'élaboration de la simulation et l'obtention des résultats souhaités. En effet, il est très facile de déplacer des dents sur une simulation, mais seul un praticien expérimenté peut réaliser une simulation qui peut être réalisée en toute sécurité une fois appliquée sur les dents d'un patient.[94].



**Figure 31: Logiciel de planification du traitement « Clin Check ». [95]**

### 3.2. Explication du devis et vidéo de présentation :

À la fin de cette période d'analyse et de préparation au traitement, le patient subira une consultation, au cours de laquelle l'orthodontiste lui montrera un clip vidéo résumant les différentes étapes du traitement, les détails et les résultats recherchés.[96]

### 3.3. Traitement pré-orthodontique :

Si l'équipe médicale estime qu'il est nécessaire d'effectuer un traitement dentaire pré-orthodontique, il faudra le faire avant de commencer à utiliser les gouttières. Ces traitements peuvent aller de la simple hygiène à l'extraction d'une dent, afin d'assurer le succès de futur traitement orthodontique. À ce stade, les gouttières sont envoyées en fabrication, de sorte à pouvoir commencer à les utiliser dès que la denture est prête. Les préparations les plus essentielles dans le traitement orthodontique par aligneurs sont les suivantes : [97].

- **Réduction amélaire interproximale :**

La réduction amélaire également appelée stripping, est l'enlèvement sélectif de l'émail en proximal afin de créer un espace permettant le mouvement des dents.

La fonction principale du stripping est de gagner de la place au niveau des arcades dentaires, en particulier au cours du traitement orthodontique. Il est aussi utilisé pour éviter l'extraction dentaire, étant donné qu'une dent limée permet de gagner environ 0,25 mm, donc l'orthodontiste aura de la place pour repositionner les dents sans avoir à procéder à une

extraction. Donc les extractions des dents sont effectuées uniquement dans les cas d'orthodontie les plus complexes où le chevauchement dentaire est important.[98]–[100]



**Figure 32: Réduction amélaire interproximale.[78]**

- **Extraction :**

Le choix des extractions sera basé sur les objectifs thérapeutiques définis par le diagnostic et le plan de traitement du praticien.[101]

- **Pose des attaches :**

Le clinicien peut choisir de reporter la pose des attaches sur les gouttières jusqu'à l'étape 2, 3 ou 4 en sélectionnant cette option dans le logiciel sous préférences cliniques globales. Le fait de reporter la pose des attaches à un rendez-vous ultérieur, permet au clinicien de se concentrer sur les instructions postopératoires de mise en place et de retrait des gouttières et sur les instructions d'hygiène buccale. Cela permet également au patient de s'habituer à porter les gouttières sans les attaches en place, lorsqu'elles sont plus faciles à retirer. Le patient peut ensuite revenir au cabinet plusieurs semaines plus tard pour faire poser les attaches. D'autre part, dans un cabinet très fréquenté ou lorsque les patients doivent parcourir de longues distances pour se rendre au cabinet dentaire, le clinicien peut choisir de placer les attaches lors du même rendez-vous où les gouttières sont insérées. Cette méthode est plus efficace, car les gouttières sont distribuées et le patient ne doit pas revenir au cabinet avant le prochain rendez-vous d'ajustement.[102]

- **Le protocole de collage des attaches :**

- D'abord il faut vérifier l'ajustement du template d'attachement.

- Il faut isoler avec un écarteur de joue et préparer les dents : application du mordantage pendant 30s, lavage de la surface avec précaution, puis séchage jusqu'à ce que la surface des dents devienne complètement blanche.
- Ensuite il faut appliquer l'adhésif sur la surface des dents et le polymériser en suivant les instructions du fabricant.
- Il faut appliquer le composite de manière généreuse dans le template d'attachement. Le clinicien doit utiliser l'un des composites recommandés par le fournisseur pour éviter l'érosion de l'attachement ou le décollement, étant donné que l'efficacité des attachements n'est garantie qu'avec certains composites, les attachements peuvent facilement changer de forme ou de surface s'ils sont fabriqués avec d'autres composites.
- Il faut placer le template dans la bouche et appliquer une pression pendant la polymérisation des attaches.
- Il faut retirer le template et éliminer l'excès de composite à l'aide d'une fraise.
- Il faut tester l'ajustement du premier aligneur. Le biseau actif de l'attachement doit être en contact avec l'aligneur. [78]



**Figure 33: Protocole de collage. [78]**

- (a) Placer du composite sur le template (b) s'assurer qu'il n'y a pas d'excès de composite.**
- (c) La mise en place de l'adhésif. (d) Commencer de manière distale à mésiale pour éviter la polymérisation inattendue de la lumière.**

### **3.4. Fabrication :**

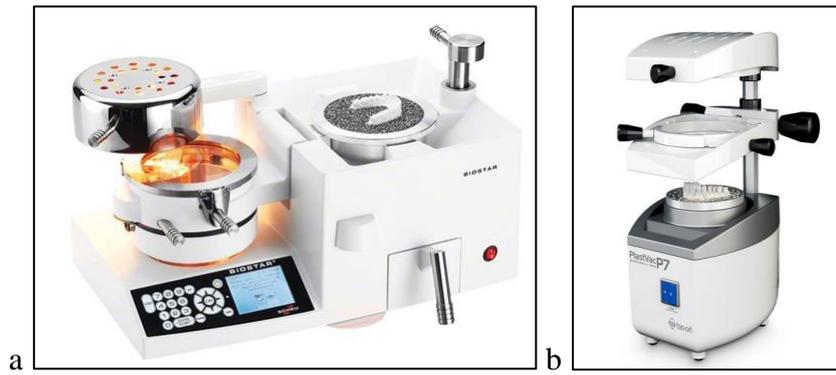
Auparavant, pour fabriquer un lot d'aligneurs dentaires au millimètre près, il fallait d'abord prendre l'empreinte dentaire d'un patient et l'envoyer (ou son modèle tridimensionnel) à l'entreprise de fabrication d'aligneurs aux États-Unis. Il était nécessaire ensuite d'attendre la fabrication et l'expédition des gouttières pour les remettre au patient.

Le fait que les aligneurs dentaires devaient être fabriqués dans un autre pays et expédiés à l'étranger les rendait extrêmement coûteux pour les cliniques et les patients. Et comme les expéditions mettent du temps à arriver à l'étranger, certains patients ont rencontré des problèmes inattendus. A présent, les cliniques dentaires modernes adoptent une approche plus raffinée et axée sur le patient en créant leurs propres laboratoires dentaires.[103]

Les gouttières orthodontiques transparentes peuvent être fabriquées actuellement soit par thermoformage sur les modèles imprimés en 3D, ou par impression 3D directe. [104]

#### **▪ 3.4.1. Fabrication par thermoformage :**

Une fois les modèles imprimés, les aligneurs peuvent être fabriqués. Une feuille de matériau thermoplastique mince est chauffée à la température de formage puis appliquée sur le moule pour prendre la forme des dents, ceci se fait par deux méthodes : Le formage sous vide qui tire le matériau sur le modèle avec une pression négative et le formage sous pression qui pousse le matériau sur le modèle avec une pression positive. Après refroidissement et durcissement, les gouttières sont taillées et les bords sont polis. Ces processus peuvent être effectués à la main ou par des machines industrielles automatisées. [105], [106]



**Figure 34: a- Machine de thermoformage sous pression Biostar. [105]**

**Figure 35: b- Machine de thermoformage sous vide plastvac. [107]**

Les polymères (individuels ou mélangés) les plus couramment utilisés pour la fabrication d'aligneurs orthodontiques en plastique transparent commerciaux sont le polyester, le polyuréthane ou le co-polyester, le polypropylène, le polycarbonate, l'éthylène acétate de vinyle et le chlorure de polyvinyle, entre autres [88]



**Figure 36: : Les plaques de thermoformage en polymères. [108]**

La procédure de thermoformage modifie les propriétés du matériau, et l'environnement intra-oral modifie davantage les propriétés d'un aligneur transparent, affectant les performances globales du matériau. Les gouttières transparentes imprimées en 3D à l'aide de résines dédiées constituent une alternative à la fabrication classique décrite. [88]

### ▪ 3.4.2. Fabrication par impression 3D :

L'impression 3D également connue sous le nom de fabrication additive, remonte aux années 1980, elle permet la fabrication de pièces couche par couche au lieu des méthodes de

fabrication courantes. Divers procédés d'impression 3D peuvent être utilisés pour les aligneurs transparents imprimés directement, tels que la fabrication de filaments fondus (FFF), le frittage sélectif par laser (SLS) ou la fusion (SLM), la stéréolithographie (SLA), le procédé polymère photo durci à jets multiples, HP Multi-Jet Technologie de fusion ou technologie de production d'interface liquide continue .L'impression 3D par photo-polymérisation à partir de résine transparente semble être l'option la plus appropriée.

Il existe plusieurs résines transparentes utilisées pour l'impression 3D d'appareils dentaires. Cependant, aucune de ces résines n'est destinée spécialement aux gouttières transparentes imprimées en 3D.

L'impression 3D directe offre la création d'aligneurs transparents très précis avec des bords doux, conçu numériquement et reproduit à l'identique pour un ensemble complet d'aligneurs de traitement; offrant un meilleur ajustement, une efficacité et une reproductibilité supérieures.[88]

### **3.5. Remise des gouttières et début du traitement :**

A la remise des gouttières, le traitement débute. Il faut s'assurer que le patient prenne le bon aligneur, celui du haut pour les dents du haut et celui du bas pour les dents du bas. Pour éviter toute confusion, chaque aligneur est marqué avec un numéro de cas unique ainsi qu'un numéro d'étape, précédé d'un « U » pour les aligneurs du haut, ou d'un « L » pour les aligneurs du bas par exemple. Le patient peut mettre en place soit l'aligneur du haut, soit l'aligneur du bas en premier. Lors de la mise en place de chaque aligneur, il pousse légèrement l'aligneur sur ses dents antérieures, puis il applique une pression égale en servant de ses pouces sur les zones molaires à droite et à gauche jusqu'à ce que les aligneurs soient bien en place. Pour retirer les gouttières, il faut placer le doigt à l'intérieur de la dernière molaire afin de les retirer lentement des molaires. L'action est répétée de l'autre côté de la bouche avant d'essayer de retirer complètement l'aligneur.[109]

### **3.6. Entretien :**

Placées dans la bouche durant presque toute la journée, les gouttières dentaires sont en contact avec de nombreux germes et peuvent rapidement devenir un réservoir bactérien. Si l'hygiène n'est pas optimale, cette situation peut engendrer des infections bucco-dentaires

potentiellement graves. De plus, comme les dents, les gouttières peuvent subir les effets de la plaque dentaire et se retrouver entartrées. Il arrive aussi fréquemment qu'elles jaunissent en raison du contact avec des aliments colorants (épices notamment).

Nettoyer convenablement les aligneurs dentaires permet de maintenir un environnement sain dans la bouche et prolongera leur durée de vie. La manière la plus simple de nettoyer les gouttières est de les brosser à l'aide d'une brosse à dents à poils souples et de l'eau froide. Il est important de faire attention à ne pas utiliser de l'eau trop chaude car cela pourrait déformer les gouttières. Au-delà du nettoyage des gouttières, le brossage des dents est également absolument incontournable dans la routine quotidienne.[110]

Les aligneurs doivent être portés en permanence, à l'exception des moments des repas, du brossage des dents et le passage de la soie dentaire. Boire de l'eau est autorisé avec les aligneurs. Cependant, le tabagisme est déconseillé, car cela les endommage. La mastication du « chewing-gum » est recommandée à chaque fois que le patient replace les gouttières en bouche afin de bien les asseoir pour un minimum de 5 Minutes/jour. Il faut éviter les aliments durs (noix, maïs éclaté, bonbons durs...) qui pourraient entraîner un décollement des boutons collés sur les dents. Si un aligneur est brisé, perdu ou défectueux, il faut remettre l'aligneur précédent qui est dans l'autre casier afin de maintenir la position des dents. [111]

Comme tous les traitements orthodontiques, les aligneurs peuvent temporairement affecter la parole de certains patients et un zozotement léger est possible pendant un ou deux jours. Toutefois, lorsque la langue s'habitue aux gouttières, le zozotement ou l'inconfort de parler devrait disparaître.[112]

Des douleurs peuvent apparaître les premiers jours suivant la pose, elles sont de deux types :

- Dentaires, dues aux mouvements des dents initiées par les aligneurs.
- Blessures, les taquets collés sur les dents peuvent entraîner des blessures type « aphtes » par frottement.

Pour pallier ces désagréments, on peut prescrire du paracétamol et du hyalugel®.

La salivation excessive ou au contraire trop pauvre peut le déranger et cela peut durer jusqu'à 1 semaine. On lui conseille de bien hydrater ses lèvres pendant 1 semaine à raison de 3 fois / jour et de boire plus souvent.[113]

### **3.7. Suivre et contrôle :**

Les patients porteurs de gouttières transparentes peuvent être vus à des intervalles variables, en fonction du type de malocclusion et du type de mouvements dentaires programmés dans les gouttières. Il est généralement admis que ces patients peuvent être vus à des intervalles plus longs que les patients avec des appareils fixes. Les aligneurs sont changés toutes les semaines ou toutes les deux semaines, selon le système d'aligneur transparent utilisé. Les cas d'alignement simples peuvent être vus à des intervalles allant jusqu'à 10 ou 12 semaines. Les cas plus complexes, tels que les cas d'extraction de prémolaires, peuvent nécessiter une surveillance plus étroite. Vers les derniers stades du traitement, le clinicien peut souhaiter revoir le patient à intervalles plus rapprochés pour effectuer les finitions des aligneurs ou incorporer certaines techniques de mise en place.

En ce qui concerne la durée des traitements d'alignement dentaire, il n'y a pas de règle générale, il s'agit là d'une solution sur-mesure, et le temps nécessaire afin d'atteindre les résultats espérés varie selon le cas de chaque patient. La durée du traitement d'alignement dentaire varie en fonction de la nature du problème à traiter et d'un patient à un autre. De façon générale, elle est comprise entre 6 et 24 mois. Mais si le résultat obtenu avec le premier plan de traitement établi avec l'orthodontiste n'est pas parfait, il pourra parfois être utile de réaliser une seconde phase, qui vous permettra d'atteindre le niveau d'alignement espéré.[114]

### **3.8. Enregistrements des aligneurs supplémentaires et scans numériques :**

A la fin de la première série de gouttières, le clinicien doit évaluer si le traitement est terminé ou si le patient aura besoin de gouttières supplémentaires. S'il est prévu que d'autres gouttières soient nécessaires pour terminer le traitement, des photographies de l'évolution du traitement ainsi qu'un scan numérique ou de nouvelles empreintes sont pris. Dans les cas où il y a eu des mouvements importants de la racine pendant le traitement, comme les cas d'extraction de prémolaires et d'incisives inférieures, ou pour les cas interdisciplinaires avec préparation du site implantaire, une radiographie panoramique de progression peut également être prise pour évaluer les inclinaisons de la racine. Différents types de mouvements dentaires seront nécessaires dans la phase des aligneurs supplémentaires, et donc différents attachements seront nécessaires. Le formulaire de prescription des aligneurs supplémentaires

est rempli en ligne, le nouveau plan de visualisation numérique est revu et modifié par le clinicien, et enfin les aligneurs supplémentaires sont approuvés pour la fabrication.

En fonction des mouvements dentaires programmés, de l'âge du patient et de la réponse biologique du patient au traitement lors de la première série d'aligneurs, le patient peut être revu à des intervalles variables. Pendant cette phase du traitement, les gouttières sont généralement changées tous les 7 jours, car la plupart des mouvements dentaires importants ont été effectués dans la première série des gouttières.[102]

### **3.9. Dossiers post-traitement :**

Lorsque le traitement est terminé, tous les attachements et les boutons sont retirés. Des dossiers post-traitement comprenant des moulages d'étude, des photographies et des radiographies panoramiques et céphalométriques sont établis. Des scans numériques ou des empreintes sont également pris pour les appareils de rétention.[102]

### **3.10. Contention :**

Lorsque le traitement est terminé, il est important et nécessaire que le résultat soit consolidé et qu'il dure dans le temps, pour éviter toutes formes de récurrences ou d'éventuelles nouvelles pathologies. La sénescence des arcades et les changements dentaires provoquent des mouvements tout au long du vieillissement. On utilise donc un appareil de contention. Cet appareil est adapté selon le patient et son profil.

Il existe plusieurs dispositifs de contention : les dispositifs fixes ou amovibles. En fonction des cas, l'appareil amovible ne peut être porté qu'à certains moments, comme uniquement la nuit par exemple. Les dispositifs fixes sont invisibles et s'envisagent sur le long terme alors que les dispositifs amovibles de nuit sont prescrits pour une durée déterminée.

Pour un enfant ayant effectué un traitement par aligneur, l'appareil de contention est primordial, mais il n'est pas garanti. La croissance d'un enfant présente encore de potentiels problèmes héréditaires ou non, qui peuvent surgir jusqu'à l'adolescence.

Chez l'adolescent, la durée du port de l'appareil de contention amovible nocturne est d'un à deux ans, avec une surveillance accrue de l'orthodontiste.

À l'issue de cette année de contention, l'accompagnement devient variable. C'est pour cette raison que la durée du maintien du fil de contention peut être, selon les cas, très longue. Le fil peut être maintenu à vie pour maintenir l'alignement antérieur et empêcher la récurrence due au vieillissement des arcades et à l'appui incessant de la langue et des usures causées par des mouvements de mastication. Il est préférable de surveiller cette évolution jusqu'à la fin de la croissance du patient adolescent. La possible poussée des dents de sagesse, assez courante à cette période de la vie, n'est pas encore prouvée comme pouvant avoir une incidence sur la récurrence.

Chez le patient adulte, la contention diffère suivant le patient. La plupart du temps l'orthodontiste va remettre une contention amovible nocturne à la fin du traitement Invisalign qui durera en moyenne un an. La contention collée interne est généralement systématique. L'orthodontiste doit veiller ensuite au maintien de cette contention.[101]



**Figure 37: Contention fixe posée sur la face interne des dents. [115]**

#### **4. La biomécanique des aligneurs :**

La biomécanique des aligneurs orthodontiques s'améliore à l'heure actuelle ce qui permet d'élargir d'une part leur champ d'action et d'autre part de mieux aborder de nouvelles possibilités thérapeutiques orthodontiques. [116]

##### **4.1. Les différentes approches biomécaniques :**

Un aligneur est capable de générer un mouvement dentaire selon deux approches :

### ▪ 4.1.1. L'approche dite des déplacements dirigés :

L'aligneur est conçu de telle sorte que sa géométrie correspond à celle de l'étape suivante du traitement (donc à la prochaine position des dents). Une fois l'aligneur sera porté, la dent se déplacera progressivement jusqu'à sa position finale. Ce système est très utile pour des mouvements de version mais ne permet pas de contrôler suffisamment les mouvements radiculaires.

### ▪ 4.1.2. L'approche dite des forces dirigées :

L'aligneur a pour but d'émettre une force pure ou un système de forces spécifiques afin de déplacer une dent. Des logiciels peuvent être utilisés pour ajouter des auxiliaires (tels que des attachements, des points de pression, des rampes d'occlusions) aux aligneurs pour les rendre plus efficaces. La combinaison de ces deux systèmes (aligneur et les auxiliaires) de mouvements dentaires rend désormais possible le traitement de la plupart des cas d'orthodontie.[117]

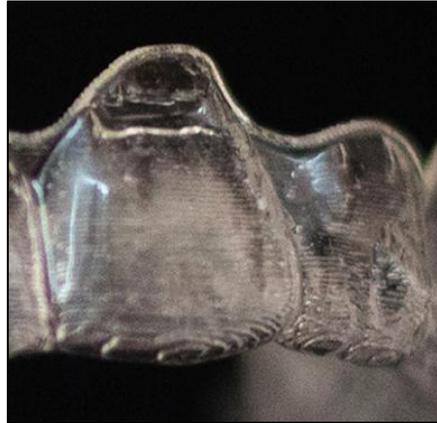
## 4.2. Les auxiliaires de traitement :

Certains mouvements dentaires sont difficiles à atteindre seulement par aligneur, donc il existe différentes formes d'attaches, chacune utilisée selon le mouvement souhaité : [116]

### ▪ 4.2.1. Contrôle de mouvement dentaire :

#### 4.2.1.1. Power Ridge :

Des petites surélévations de plastique qui permettent d'appliquer une force directement sur une dent, elles peuvent être placées en vestibulaire ou bien en lingual pour améliorer l'efficacité. Se sont également des zones de pression sur l'aligneur pour obtenir un couple radiculo-lingual (déplacer la racine de la dent en direction vestibulo-palatin).[118] [116]



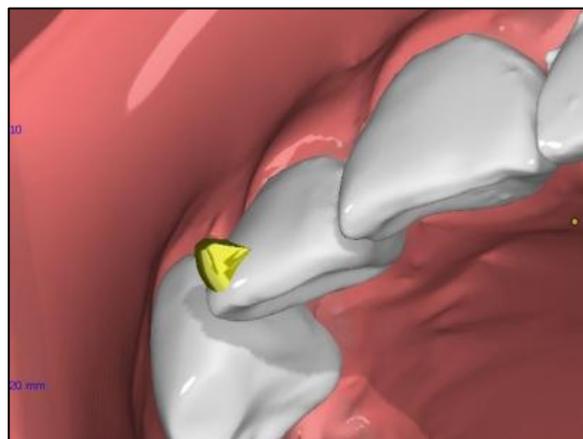
**Figure 38: Power ridge. [78]**

### **4.2.1.2. Attaches (taquets) :**

Ce sont des petites bosses en composite ajoutées à la surface de la dent, elles améliorent les zones de contre-dépouille, que ce soit pour la rétention ou pour faciliter les mouvements particuliers. On trouve :

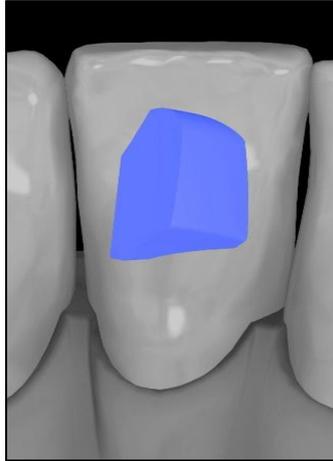
**4.2.1.2.1. Les attaches conventionnelles :** sont des attaches passives qui améliorent la fixation de l'aligneur sur la dent. Elles sont généralement préfabriquées et utilisées de manière standard. En fonction de leur forme, les attaches sont de types suivants :

- **Attaches ellipsoïdes :** Ces attaches ont une épaisseur de 0,75 à 1 mm d'épaisseur, 2 mm de largeur et 3 mm de hauteur. elles peuvent être utilisées seules ou par paires. Elles entraînent des dérotations lorsqu'elles sont utilisées seules. Et elles peuvent redresser les dents lorsqu'elles sont utilisées par paires, auquel cas elles produisent un moment de couple.[119] [78]



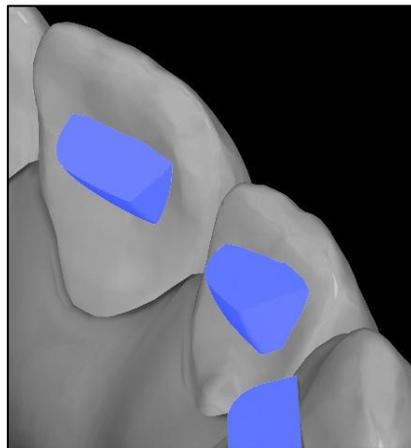
**Figure 39: Attache ellipsoïde.[120]**

- **Attaches rectangulaires** : elles ont une épaisseur de 0,5 à 1 mm, une largeur de 2 mm et une hauteur de 3, 4 ou 5 mm, ils permettent un mouvement de translation des dents. [119] [78]



**Figure 40: Attache rectangulaire.[121]**

- **Attaches Biseautées** : Elles ont une épaisseur de 0,25 à 1,25 mm, une largeur de 3, 4 ou 5 mm et une hauteur de 2 mm ou 5 mm. Elles sont le plus souvent utilisées pour égrésier une dent.



**Figure 41: Attache biseautée.[121]**

Pour la rétention, les attaches conventionnelles sont très efficaces. Une meilleure rétention peut être atteinte par l'augmentation de la taille de l'attache. Elle fournit un ancrage

et permet également un meilleur verrouillage de l'aligneur lors de l'utilisation d'élastiques inter-arcades.[119] [78]

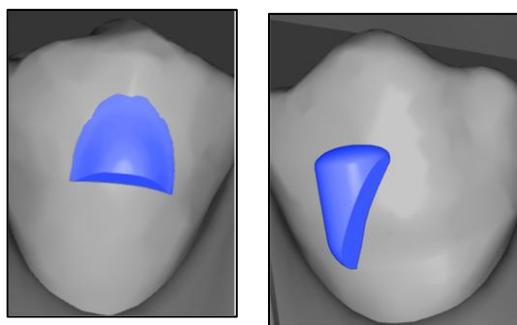
### 4.2.1.2.2. Les attaches optimisées (power-grip) :

Il s'agit des attaches présentant des caractéristiques différentes de ceux conventionnelles. Elles sont :

- Conçues pour fournir une force optimale afin d'obtenir un mouvement plus prévisible.
- Fabriquées sur mesure pour chaque largeur, axe longitudinal et contour de la dent.
- Positionnées de manière précise pour délivrer les forces tout en éliminant simultanément les interférences.

Toutes ces caractéristiques sont définies par le logiciel Clin Check et ne peuvent pas être modifiées par le praticien, une fonctionnalité qui pourrait changer à l'avenir. Les attachements optimisés fournissent des Smart Forces appliquées aux dents. Ils fournissent la quantité de force nécessaire pour créer le mouvement idéal de la dent.

Certains mouvements ne répondent pas aux critères pour générer une conception optimisée. C'est ici que des modifications peuvent être faites aux attachements conventionnels pour rapprocher les conceptions des attachements optimisés normalement sélectionnés pour les mouvements souhaités. Grâce aux commandes 3D, la position et la quantité du biseau peuvent être ajustées pour correspondre à une conception optimisée similaire. [122]



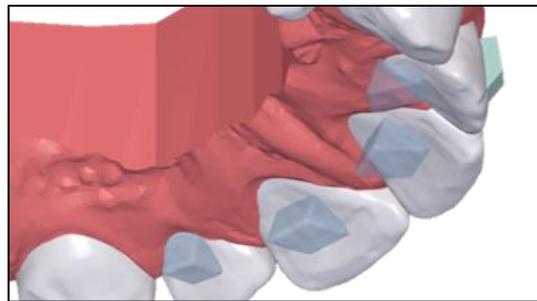
**Figure 42: Attaches optimisées.[121]**

### 4.2.1.3. Une rampe d'occlusion :

C'est une épaisseur accrue de plastique conçue pour épouser la forme des gouttières, généralement positionnées à l'arrière des incisives supérieures.

L'idée est que, lorsque le patient serre les dents ensemble, il finit par mordre sur cette épaisseur supplémentaire, ce qui empêche certaines dents (telles que les incisives supérieures et inférieures) de se toucher.

Cette disocclusion donne à ces dents une plus grande liberté de mouvement (par exemple, elles ne seront plus exposées aux forces lors de la fermeture des mâchoires), ce qui accélère et rend le traitement plus prévisible. [123]



**Figure 43: Les rampes d'occlusion. [124]**

### ▪ 4.2.2. Contrôle de l'ancrage :

En biomécanique orthodontique, l'ancrage est défini comme : la résistance du corps au mouvement qui peut être assurée par différents dispositifs. [116]

#### 4.2.2.1. Pontic kit :

Utiliser en cas de perte ou en cas d'extraction dentaire, les techniciens d'Align utilisent une dent virtuelle pendant le processus de fabrication, ce qui masque l'espace et donne l'apparence d'une dentition complète.

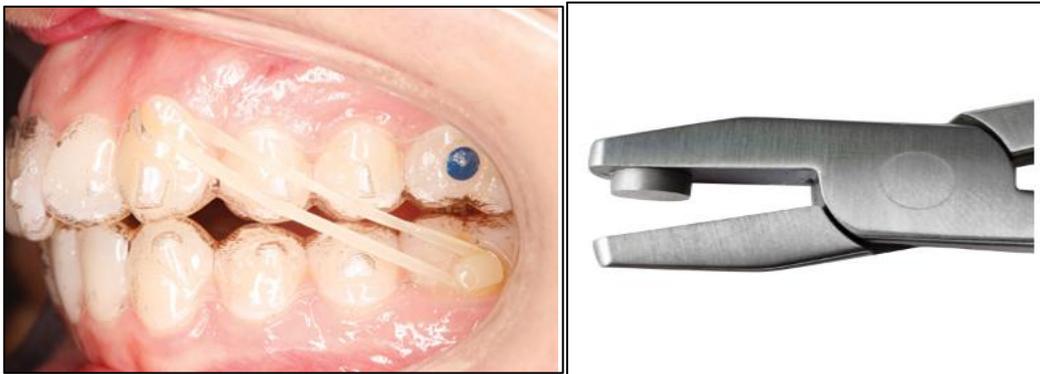


**Figure 44: Pontique remplaçant la canine. [125]**

#### 4.2.2.2. Boutons de précision :

Désigne les petits supports en plastique ou en métal qui servent de points d'ancrage pour les élastiques, donc l'aligneur du patient doit être coupé pour accueillir les boutons et le port de l'élastique (coupe de précision / coupe du bouton / coupe de l'élastique).

Dans certains cas, le point d'ancrage de l'élastique peut être la gouttière elle-même. Le plastique de l'aligneur est coupé pour donner une forme de crochet sur lequel l'élastique s'adapte, et pour créer cette découpe on utilise une pince perceuse ronde conçue spécialement pour les aligneurs.[123]



**Figure 45: Coupe et bouton de précision.[78] Figure 46: Pince perceuse ronde.[126]**

#### 4.2.2.3. TIM :

Est utilisée pour le contrôle de l'ancrage ou pour corriger une anomalie sagittale de classe II ou, dans certains cas, de classe III.[127]

### 4.2.2.4. Mini-vis :

Utiliser pour la fixation des élastiques pour assurer un meilleur contrôle d'ancrage.[127]



Figure 47: Les mini-vis.[128]

### 4.2.2.5. Le power arm :

Un petit crochet qui est utilisé pour placer des élastiques afin de fournir une force de redressement supplémentaire à une dent.[129]



Figure 48: Power arm.[130]

## 4.3. Les mouvements possibles par les aligneurs :

### ▪ 4.3.1. Le mouvement de version :

La version est un mouvement de bascule. Il résulte de l'application d'une force sur un point de la couronne en direction mésiale, distale, linguale ou vestibulaire. La racine et la

couronne se déplacent en même temps, mais la racine se déplace dans le sens opposé à la force appliquée.

### **4.3.1.1. La version incontrôlée :**

Une étude a été effectuée par Baldwin et al. En 2006 pour décrire le déplacement des dents adjacentes aux espaces d'extraction des prémolaires pendant la fermeture de l'espace. Dans cette étude, le traitement avec des gouttières a entraîné une version importante des dents adjacentes aux sites d'extraction.

### **4.2.2.2. La version contrôlée :**

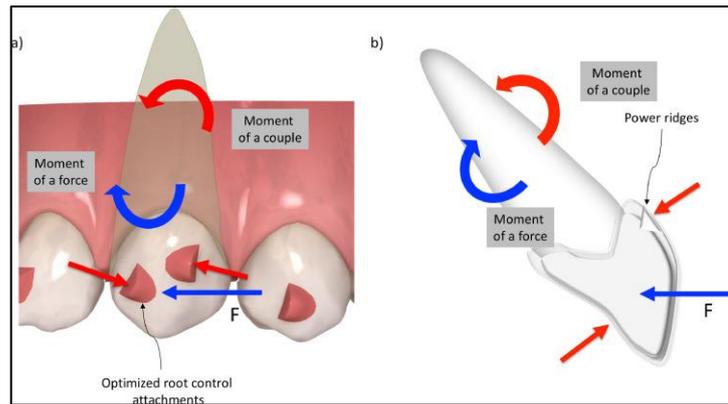
La version est prévisible avec les gouttières thermoplastiques, mais il demeure difficile d'établir un contrôle radiculaire comparable. Cependant, il y a un effet secondaire de mouvement avec les gouttières, appelé l'effet "graine de melon d'eau" qui se réfère à l'intrusion involontaire de la dent déplacée, déclenchée par une force intrusive provoquée par la déformation de l'appareil.

Une étude a été réalisée par Gao & Wichelhaus en 2017, pour évaluer l'effet de l'épaisseur du matériau sur les forces et les moments transmis par les gouttières à une incisive maxillaire au cours de version et l'intrusion. Le rapport moment\force (M\F) variait entre 8 et 9 (8,2) pour la version. [117], [131]

### **▪ 4.3.2 Le mouvement de translation :**

Deux études ont prouvé que le mouvement de translation (MD, VL) est non prévisible avec aligneur orthodontique. L'utilisation d'auxiliaire (attachement, power-ridge) permettrait d'optimiser les résultats et d'assurer le contrôle des axes dentaires lors du mouvement simulé sans apparition de mouvement indésirable tel que le mouvement de version incontrôlée.

Cependant 07 études ont confirmé la prévisibilité du mouvement de translation (MD, VL) avec aligneur orthodontique tout en ayant recours aux attachements optimisés (les power-ridge) pourraient contrôler les racines dans le sens MD/VL. [131]



**Figure 49: Contrôle du mouvement des racines pendant la translation.** [132]

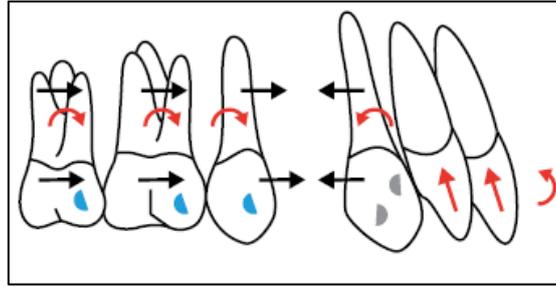
Les deux mouvements de translation les plus couramment réalisés avec les aligneurs sont :

#### **4.3.2.1. La distalisation des molaires :**

Une étude rétrospective a été réalisée par Ravera et al, dont les résultats ont montré que le mouvement de translation des molaires maxillaires était réalisable avec l'utilisation de gouttières en combinaison avec des attaches en composite et des élastiques de classe II. Les aligneurs ont permis de distaler les deuxièmes molaires maxillaires de 2,25 mm sans mouvement de version ou mouvements verticaux significatifs de la couronne. [131]

#### **4.3.2.2. Déplacement des dents adjacentes aux sites d'extraction :**

La fermeture de l'espace au niveau des sites d'extraction nécessite des attaches de "contrôle radiculaire" sur les dents adjacentes aux sites d'extraction, est une interaction entre le moment de force qui est créé par la force de rétraction, et le moment de couple. Le moment d'un couple joue un rôle dominant lorsqu'il est nécessaire de "contrôler" le mouvement de la dent. Tout mouvement de la dent autre que la version incontrôlée nécessitera un moment de couple.[131], [132]



**Figure 50: Contrôle du mouvement des racines pendant la fermeture d'espace.[78]**

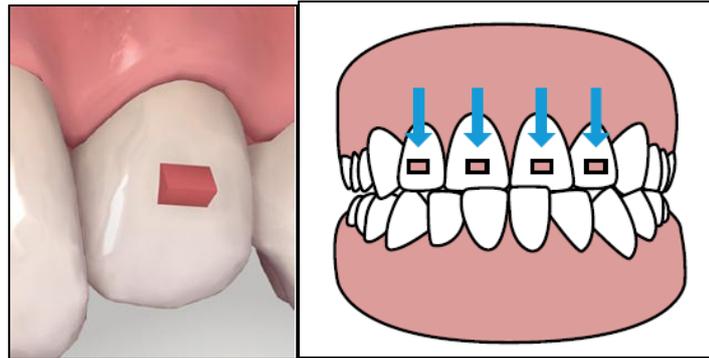
#### ▪ 4.3.3. Le mouvement d'égression :

L'égression est le mouvement dentaire le moins précis obtenu avec aligneurs. Les incisives centrales maxillaires et mandibulaires présentaient la plus faible précision, la quantité moyenne d'égression tentée était de 0,56 mm

Kravitz et al ont mené une nouvelle étude pour faire le point sur la précision du mouvement des dents avec gouttière. L'un des résultats les plus prometteurs de cette étude est l'amélioration de la précision de l'égression par l'utilisation d'attache d'égression optimisés.

Il est alors nécessaire d'utiliser des attaches qui présentent une surface plane dite active, sur laquelle l'aligneur peut exercer une force. La partie active est l'élément essentiel de l'attache puisque c'est la partie qui est engagée par l'aligneur. Le reste de l'attache sert de lien et de renforcement. Ces attaches doivent être biseautées du côté de la gencive et être placées sur une seule dent ou sur un groupe de dents lorsque des égressions multiples sont nécessaires.

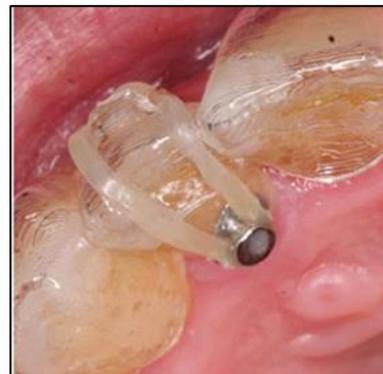
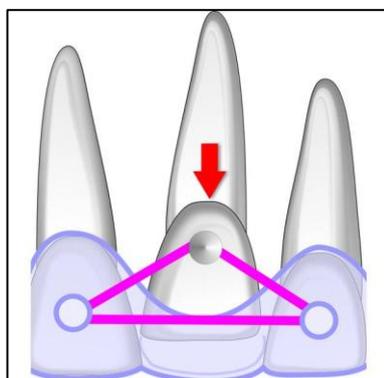
Dans les cas de béance nécessitant une égression absolue des incisives, les attaches d'égression optimisés sont automatiquement placés sur les incisives par le logiciel lorsqu'une égression pure de 0,5 mm ou plus est détectée.[131], [133]



**Figure 51: Attachement d'égression optimisée. Figure 52: égression absolue des incisives supérieures.[78]**

Une autre méthode consiste à utiliser un Power grip collé sur la surface vestibulaire de la dent concernée par l'extrusion, deux boutons sur l'aligneur au niveau des dents adjacentes, et des élastiques intra-arcade, l'égression est activée en changeant les élastiques 3 à 4 fois par jour. Lorsque l'égression nécessaire est terminée, la gouttière verrouille la dent dans la position souhaitée.

Dans le cas d'open bite nécessitant des égressions de 2 à 3 mm, des élastiques intermaxillaires peuvent être utilisés. Les dents à égresser sont munies de boutons et sont fixées à l'arcade opposée par des élastiques sur les boutons également. Lorsque l'égression souhaitée est terminée, les dents cibles sont en contact avec la surface interne de l'aligneur et aucune égression supplémentaire ne se produit. Cette méthode peut être modifiée en plaçant les boutons sur la surface linguale de l'aligneur dans la même arcade avec l'utilisation d'élastiques intra-arcade.[131], [133]



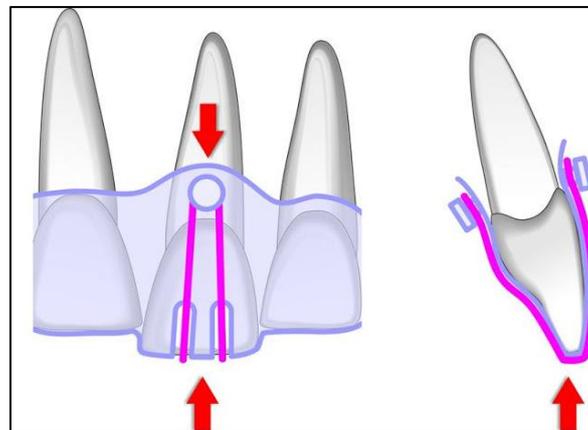
**Figure 53: Power-Grip.[134] Figure 54: Les élastiques intra-arcade. [78]**

### ▪ 4.3.4. Le mouvement d'ingression :

Est un mouvement au cours duquel la dent pénètre dans son alvéole à l'aide d'une force axiale de direction apicale. Le meilleur protocole pour réaliser l'ingression dans un temps plus court, est d'exercer une force d'ingression optimale sur les dents cibles tout en maintenant la stabilité des dents d'ancrage.

Les gouttières présentent des avantages car elles couvrent toutes les dents, ce qui empêche l'extrusion des dents postérieures. L'ingression ne nécessite pas d'attachements en composite sur les dents concernées. Cependant, les dents d'ancrage doivent être munies d'attaches horizontales rectangulaires pour l'ancrage et l'extrusion relative.

Une autre méthode consiste à positionner deux boutons sur l'aligneur en vestibulaire et en palatin/lingual au niveau de la gencive de la dent cible. Deux rainures de 1,5 à 2 mm de profondeur sont ensuite réalisées sur le bord incisif avec un diamètre de 1 mm pour accrocher les élastiques en cas d'intrusion de la dent antérieure, dans le cas d'une dent postérieure, la partie occlusale de l'aligneur est coupée.



**Figure 55: Des rainures ou accrocher les élastiques. [134]**

La biomécanique d'une force d'ingression prend en compte le point d'application de la force, mais aussi l'inclinaison vestibulo-palatine / linguale de la dent. Ainsi, pour ingresser les dents, il est nécessaire de corriger le torque puis l'ingression peut se faire dans l'os spongieux en exerçant une force sur la surface de la dent. Le maintien du contrôle de l'inclinaison vestibulo-linguale (torque) pendant l'ingression est très important, car si l'apex de la racine est

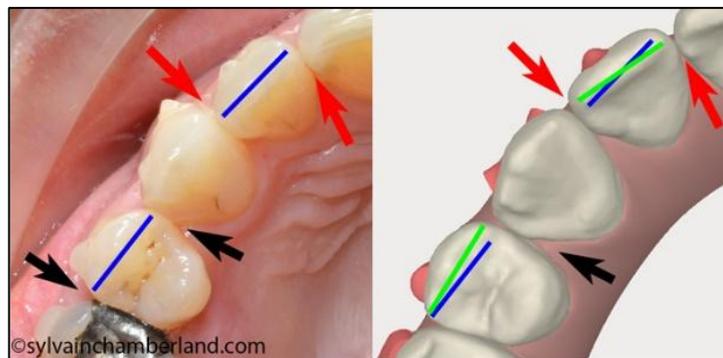
en contact avec l'os cortical vestibulaire ou lingual, une résorption radiculaire peut se produire. [117], [131]

### ▪ 4.3.5. Le mouvement de rotation :

Ce mouvement nécessite un couple de forces opposées qui se compensent pour ne pas translater la couronne, mais pour seulement la mettre en rotation. Il existe deux méthodes pour effectuer la rotation :

Un couple de forces peut être créé pour faire pivoter une dent en collant des boutons sur les surfaces vestibulaire et palatine de la dent pivotée et en utilisant des chaînes élastiques entre eux avant ou pendant le traitement par gouttières. Les chaînes peuvent être changées toutes les 3 semaines jusqu'à ce que la rotation soit corrigée.

Il est également possible d'effectuer des rotations de canines et de prémolaires de manière plus prévisible en utilisant des attachements de rotation optimisés. Ces attachements ont des formes différentes en fonction de la direction de la force requise pour faire tourner la dent concernée.[117], [131]

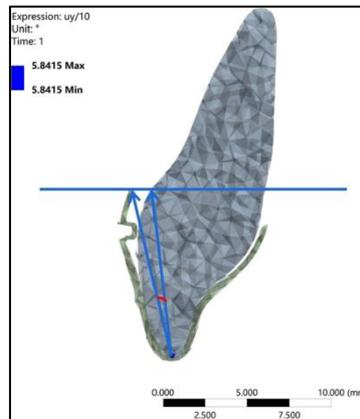


**Figure 56: Mouvement de rotation.**[135]

### ▪ 4.3.6. Mouvement de torque :

Le mouvement de torque avec les aligneurs peut être fait en utilisant les Power-Ridges. Ils sont censés appliquer une force linguale ou palatine sur la partie cervicale de la couronne, lorsqu'elle est contrainte par le plastique recouvrant le bord incisif de la même dent, crée un couple de forces, ce couple est censé produire le torque lingual.

Une autre méthode utilisée dans le système Essix est également efficace : en utilisant une coupe de précision ou bouton de précision, deux forces sont appliquées simultanément en vestibulaire et en lingual de la dent cible. [131]



**Figure 57 : L'angle de distorsion entre la surface interne de l'aligner et la surface de la dent généré par la crête de puissance. [137]**

## **5. Les indications et les contres indications des aligneurs :**

### **5.1. Les indications :**

Le champ d'application des aligneurs s'est considérablement élargi au cours de la dernière décennie, passant du simple traitement d'un encombrement léger à modéré à une solution thérapeutique sophistiquée et bien contrôlée pour les malocclusions complexes également. Bien que les preuves scientifiques de ce système en soient encore à leurs débuts, les rapports de cas publiés ont montré des résultats extrêmement encourageants pour des cas complexes.[136]

#### **▪ 5.1.1. Encombrements :**

Lorsqu'on veut résoudre un problème d'encombrement chez un patient, nous n'avons qu'un nombre limité d'options à notre disposition. Il s'agit des options suivantes :

1. L'expansion : qui fait référence à l'élargissement transversal postérieur de l'arcade, ce qui crée une circonférence supplémentaire de l'arcade pour aligner les dents. Les aligneurs fonctionnent alors comme un appareil d'expansion de l'arcade dentaire, capable de réaliser une

expansion limitée de l'arcade et de redresser les dents inclinées lingualement. Si la forme initiale de l'arc est étroite et resserrée, l'arc peut être développé en une forme plus large et ovoïde. On considère également la distalisation postérieure des molaires comme un type d'expansion. [102], [137]

2. **Protrusion** : qui consiste en un mouvement vestibulaire des incisives supérieures et inférieures, ce qui peut également permettre de gagner en longueur d'arcade pour éliminer l'encombrement. La protrusion fonctionne mieux s'il y a une supraclusion et si les incisives maxillaires et/ou mandibulaires sont droites ou rétroclinées. La protrusion peut être contre-indiquée s'il y a une infraclusion antérieure, s'il existe déjà une protrusion des incisives maxillaires et mandibulaires et si le support parodontal est douteux, en particulier dans le segment antérieur mandibulaire. [102], [137]

On peut associer le traitement de l'encombrement soit avec : la réduction interproximale (RIP). En enlevant l'émail, nous pouvons également créer un espace pour résoudre le problème des encombrements, ou bien avec l'extraction d'une ou plusieurs dents : un encombrement modéré peut nécessiter l'extraction d'une incisive mandibulaire ou une distalisation de l'arcade en plus de l'expansion, de la proclinaison ou de l'RIP. Et un encombrement sévère peut nécessiter l'extraction de prémolaires en plus de toutes les options ci-dessus. [102], [137]

### ▪ **5.1.2. Fermeture d'espace et diastème :**

La fermeture de l'espace est l'un des mouvements les plus facilement réalisables avec les aligneurs, puisque l'aligneur est capable de prendre la totalité de la couronne du fait des espaces entre les dents. il n'y a que deux façons de résoudre le problème d'espace, le mouvement de version ou de translation .[137], [138]

### ▪ **5.1.3. Classe II :**

Il existe plusieurs moyens non chirurgicaux possibles de corriger les malocclusions de classe II par les aligneurs :

- Pour les décalages sagittaux alvéolaires nécessitant une distalisation de moins de 3 mm, nous pouvons réaliser en toute sécurité une distalisation séquentielle pilotée par les

gouttières, pendant laquelle, il est essentiel d'utiliser des élastiques de classe II intermaxillaires ou des minivis pour éviter la perte d'ancrage au niveau des dents antérieures.

- Pour les décalages compris entre 3 et 5 mm, selon la situation clinique, nous réalisons une distalisation séquentielle pilotée par les aligneurs associés ou non à :

- Une RIP : effectuée dans les segments buccaux supérieurs pour créer un espace pour la rétraction des canines en Classe I, en ajoutant la rétraction des incisives lorsque le patient présente une classe II div 1.
- Une dérotation molaire : La rotation mésio-palatine des premières molaires supérieures entraîne souvent une perte d'espace intra-arcade. Sur cette base, la rotation disto-vestibulaire des molaires supérieures peut être considérée comme une intervention utile pour l'amélioration partielle de la relation dentaire de classe II.
- Les élastiques de classe II : dans la quasi-totalité des traitements de classe II que nous réalisons, les élastiques sont placés sur un crochet collé sur la canine d'une part et sur un bouton métallique au niveau de la première molaire mandibulaire d'autre part. Une attache collée sur la canine empêche la rotation provoquée par l'élastique.



**Figure 58 : Les élastiques de classe II.[139]**

- Dans le cas de décalage squelettique plus important, on opte soit pour un traitement d'extraction compensatoire (généralement des premières prémolaires supérieures), soit pour une chirurgie ortho-gnathique, là encore en fonction de la situation clinique et de la décision du patient.

- Dans le cas de classe II div 2, on peut redresser les incisives en appliquant un torque sur les incisives maxillaires à l'aide de Power Ridge (activateur de torque).

- On peut également traiter la classe II unilatérale après avoir extraire une prémolaire maxillaire en combinant un traitement multi-attaches sectoriel en premier temps pour distaler la canine vers la zone édentée, et en terminant par les aligneurs afin de corriger l'angulation de la canine .[137], [138], [140]

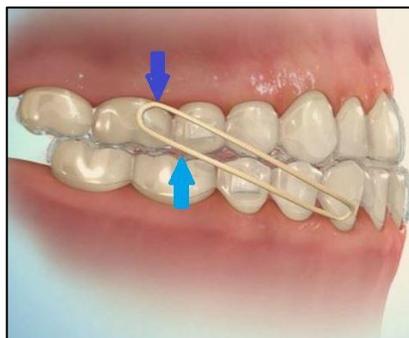
### ▪ 5.1.4. Classe III :

- Chez les patients sans aucun potentiel de croissance et qui présentent une malocclusion de classe III ou un très léger décalage squelettique, un traitement sans extraction peut être tenté à l'aide des aligneurs, en combinaison avec une réduction inter-proximale mandibulaire (RIP), les élastiques de classe III et la distalisation des molaires mandibulaires (mini-vis peuvent être utilisés comme un ancrage supplémentaire ou pour une distalisation en masse).

- Lorsque le décalage squelettique est plus important mais demeure dans le domaine du camouflage dentaire, des extractions peuvent être nécessaires, selon la situation clinique on procède soit à l'extraction de l'incisive centrale inférieure, toutes les premières prémolaires, ou bien l'extraction des secondes prémolaires maxillaires et des premières prémolaires mandibulaires.

Les auxiliaires utilisés dans la correction de classe III sont :

- Les coupes de précision : peuvent être réalisés au niveau des molaires maxillaires et des canines mandibulaires pour placer les élastiques de classe III. Cela aura une force mésiale sur l'ensemble de l'arcade maxillaire et une force distale sur l'arcade mandibulaire. En utilisant le principe de l'ancrage inter-arcade, l'arcade maxillaire sert d'ancrage pour la distalisation de l'arcade mandibulaire.



**Figure 59 : Les élastiques de classe III. [141]**

- Power ridges : ils peuvent être placés sur les incisives mandibulaires pour corriger leurs inclinaisons pendant la distalisation.
- Les attachements de contrôle radiculaire : permettre la translation des dents lors de la distalisation des prémolaires et canines mandibulaires pour corriger la malocclusion de classe III.

- Dans le cas de malocclusions squelettiques sévères de classe III, particulièrement celles qui comportent une composante d'asymétrie mandibulaire, une chirurgie orthognathique sera nécessaire.[102], [142]

### ▪ 5.1.5. La Béance (Open Bite) :

La béance dento-alvéolaire, qui était auparavant traité exclusivement avec des appareils fixes, peut être résolu efficacement, tout en préservant l'esthétique faciale, à l'aide des aligneurs.

- Le traitement par aligneurs s'est avéré particulièrement efficace pour contrôler la béance antérieure, car la double épaisseur des appareils en plastique transparent sur la surface occlusale en combinaison avec la force de mastication du patient, exerçait une force intrusive sur les dents postérieures avec d'excellents résultats.

- La fermeture de la béance avec les aligneurs se produit en raison d'une combinaison d'extrusion des incisives maxillaires et mandibulaires et d'intrusion des molaires maxillaires et mandibulaires, entraînant une auto-rotation mandibulaire et une réduction de la hauteur faciale antérieure. [143]

- Les béances antérieures sont traitées de manière plus prévisible lorsque les caractéristiques suivantes sont réunies :

- la béance antérieure est dentaire et non squelettique.
- Les incisives sont proclinées avec présence de diastème.
- L'arcade maxillaire est étroite avec des dents postérieures à inclinaison linguale qui peuvent être élargies.

- On devrait finir l'occlusion avec des contacts occlusaux antérieurs lourds et de surtraiter la béance antérieure pour obtenir au moins 2 mm de supraclusion positive dans l'occlusion finale.[102], [144]



**Figure 60 : Correction de la béance antérieure.[145]**

### ▪ 5.1.6. Supraclusion (Deep Bite) :

Le traitement des supraclusions avec les aligneurs a été perçu comme difficile en raison de la force de morsure naturelle du patient facilitant l'intrusion postérieure.[146]

En 2014, Align Technology a lancé son protocole de traitement de la supraclusion. Ce protocole visait à améliorer la prévisibilité de la correction de supraclusion dans le cadre d'un traitement par aligneur via plusieurs innovations, notamment des zones de pression (pour diriger l'intrusion à travers l'axe long de la dent), des attaches d'occlusion profonde optimisées sur les prémolaires (pour servir d'ancrage pour l'intrusion des incisives) et des rampes d'occlusion de précision jusqu'à 3 mm en profondeur (pour permettre la désocclusion postérieure).[102], [146]

Un avantage particulier de l'utilisation des aligneurs pour traiter la supraclusion est le contrôle vertical qu'ils offrent aux patients présentant un schéma squelettique dolichofacial. Un autre avantage des aligneurs formés sous vide est l'efficacité pour le maintien de la correction de la supraclusion, car ils empêchent l'éruption des dents précédemment intruses.[102]

Dans les cas graves où la supraclusion est de 80% ou plus, le sur-traitement doit être intégré à l'occlusion finie sur le logiciel ClinCheck.

Ce sur-traitement peut avoir les effets suivants :

- Corriger jusqu'à 0 mm de supraclusion.
- Créer une courbe de Spee inversée dans l'arcade mandibulaire.
- Finir l'occlusion avec des contacts occlusaux postérieurs lourds.[102]



**Figure 61: Correction de la supraclusion antérieure.[78]**

### ▪ 5.1.7. Traitement ortho-chirurgical :

Il est possible de préparer un patient en vue d'une chirurgie ortho-gnathique par un traitement aligneur, à partir du moment où le logiciel de simulation est utilisé pour planifier les futurs rapports intra et inter-arcade.[138]

La chirurgie ortho-gnathique comporte trois étapes spécifiques, qui comprennent une phase orthodontique pré-chirurgicale (suppression des compensations dentaires existantes), la procédure chirurgicale et une phase de finition orthodontique post-chirurgicale. L'incorporation d'aligneur dans la chirurgie ortho-gnathique peut se faire de différentes manières, en fonction de l'étape du traitement à laquelle il sera utilisé et du type d'approche chirurgicale. Par exemple, l'une des approches thérapeutiques consiste à limiter l'utilisation des aligneurs à la phase pré-chirurgicale. En général, cette phase est la plus longue en chirurgie ortho-gnathique, elle dure environ de 12 à 25 mois. Par conséquent, si les patients reçoivent un traitement par aligneur pendant la phase pré-chirurgicale, les appareils fixes ne seront utilisés que pendant une courte période de temps pendant la phase post-chirurgicale. Cette approche est souvent préférée car les appareils fixes utilisés dans la phase post-chirurgicale offrent généralement un meilleur contrôle de finition de l'occlusion. La deuxième approche utilise les aligneurs pour les phases pré et post-chirurgicales, sans appareils fixes, ce qui pose le problème des zones limitées disponibles pour attacher solidement l'attelle chirurgicale pour la fixation maxillaire et mandibulaire. [147]

Les minivis sont un complément puissant pour augmenter l'ancrage lorsqu'ils sont utilisés en conjonction avec les aligneurs pendant la phase post-chirurgicale, pour faciliter l'utilisation des élastiques maxillo-mandibulaires, afin de maintenir les dents dans l'occlusion post-chirurgicale prévue.[102], [147]

### ▪ 5.1.8. Traitement interceptif :

Invisalign propose différents traitements orthodontiques utilisant des aligneurs transparents. Un traitement précoce, tel qu'Invisalign Teen, est adapté aux adolescents et permet également de gérer l'éruption des dents pendant ce traitement. Pour les enfants plus jeunes, Invisalign First est spécialement conçu pour ceux âgés de 6 à 9 ans ayant une dentition mixte. Ce traitement offre des solutions précoces pour corriger les problèmes dentaires.[148]

### ▪ 5.1.9. Préparation pré-prothétique et pré-implantaire :

Le traitement interdisciplinaire est parfois la meilleure approche pour les cas de restaurations compliquées ou les cas dans lesquels le résultat de la restauration peut être compromis par une occlusion préexistante moins qu'idéale.

Les aligneurs, qui utilisent la puissance de la planification numérique du traitement pour aider à planifier l'espace pour la restauration finale, sont particulièrement adaptés au traitement orthodontique pré-prothétique et pré-implantaire, citons à titre d'exemples, la redistribution des espaces pour les facettes, la préparation du site pour l'implantation d'une seule dent.[149]

## 5.2. Les contre-indications :

Il faut tenir compte de plusieurs paramètres pouvant constituer des contre-indications avant d'envisager un traitement par aligneurs :

### ▪ 5.2.1. Dues au patient :

- Déminéralisation de l'émail.
- Le profil psychologique (dépressif, non coopérant).
- Patients allergiques au matériau utilisé pour la fabrication des gouttières.
- Le tabagisme.
- Certains traitements médicamenteux utilisés dans le traitement des cancers osseux ou de l'ostéoporose (risque de nécroses maxillaires).
- Certaines pathologies telles que le diabète déséquilibré (contre-indication relative).

- Le port de bridge dentaire (risque de dégradation, voire de perte de ces prothèses).
- Présence d'une maladie parodontale (forte résorption osseuse).

### ▪ 5.2.2. Dues à l'anatomie dentaire :

- Les couronnes cliniques courtes (cas d'usure dentaire avancée par exemple).



**Figure 62: Usure dentaire avancée. [150]**

- Les dents rondes, en grain de riz (défavorable à la transmission des informations par l'aligneur).

### ▪ 5.2.3. Dues à l'occlusion dentaire :

- Encombrement et diastème importants.
- Egression, ingression importante.
- Rotation trop importante (plus de 20°).
- Décalage squelettique antéro-postérieur de plus de 2 mm.
- Divergence de relation centrique et d'occlusion centrique.[150]–[154]

## 6. Les avantages et inconvénients :

### 6.1. Les avantages :

#### ▪ 6.1.1. Esthétique :

Le principal avantage des aligneurs réside dans la transparence des gouttières thermoformées. Elle est indétectable « à distance sociale ». 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.

### ▪ **6.1.2. Planification virtuelle :**

Qui permet une coordination pluridisciplinaire particulièrement importante chez les patients, dont le traitement inclut une phase de restauration prothétique ou implantaire après un traitement orthodontique. Permet aussi d'obtenir un résultat final plus prédictible.

### ▪ **6.1.3. Réduction du nombre de visites :**

Le traitement est préconfiguré et donc, le patient n'a pas besoin d'effectuer des contrôles trop rapprochés.

### ▪ **6.1.4. Maintenance de la santé parodontale et faible risque carieux et de décalcification :**

Les aligneurs peuvent être enlevés au moment des repas et du brossage, ce qui signifie qu'il n'y a aucune rétention de nourriture, ce qui facilite l'hygiène buccodentaire.

### ▪ **6.1.5. Peu ou pas de complications associées au traitement par aligneurs :**

Il semble que les aligneurs n'aient pas d'effets délétères en rapport avec leur positionnement physique ou les matériaux avec lesquels ils sont fabriqués, donc on note peu ou pas de blessures muqueuses et d'inflammation, pas d'abrasions et de réaction allergique.

### ▪ **6.1.6. Contrôle des forces :**

- La possibilité de contrôler efficacement l'intensité, la durée et la constance des forces appliquées par les aligneurs permet d'éviter des mouvements dentaires indésirables.
- Application de forces douces et intermittentes (risques de résorption réduits).
- Un séquençage plus long permet de réduire l'intensité des forces.

### ▪ **6.1.7. Douleurs réduites :**

Douleurs moindres au changement d'aligneurs grâce à l'application de forces d'intensité réduite.

### ▪ **6.1.8. Activités quotidiennes normales (compliance augmentée) :**

Les traitements par aligneurs qui permettent la poursuite d'activités quotidiennes comme le sport ou la pratique d'un instrument de musique à vent permettent d'augmenter l'implication des patients, en particulier chez les adolescents.

### ▪ **6.1.9. La désocclusion des dents :**

Peut-être avantageuse pour les patients souffrant de problèmes d'ATM.

### ▪ **6.1.10. Traitement facilité des patients souffrant d'hypoplasie amélaire :**

Les aligneurs permettent de traiter des patients souffrant d'hypoplasie amélaire sans les difficultés liées au collage de brackets sur ces surfaces dentaires modifiées.[138], [151], [155]

## **6.2. Les inconvénients :**

### ▪ **6.2.1. L'assiduité nécessaire des patients :**

Une grande partie du traitement est effectuée de manière autonome, de sorte que le patient doit respecter les heures de port et les consultations chez le dentiste. Sinon, ses dents ne se mettront pas en place à temps. Pour simplifier les choses, faire corriger les problèmes par les aligneurs dentaires demande un engagement personnel.[156]–[158]

### ▪ **6.2.2. Le risque de perte les aligneurs :**

Le patient doit être prudent et très rigoureux au stockage de ses gouttières lorsqu'il ne les porte pas, particulièrement au moment des repas.[159]

### ▪ **6.2.3. L'impossibilité de traiter tous les cas orthodontiques :**

Bien que les aligneurs transparents couvrent chaque jour de plus en plus de cas, ils ont leurs limites, elles ne constituent pas une solution à tous les problèmes. En effet, il existe des appareils orthodontiques, qui peuvent se révéler plus efficaces dans les cas complexes. [156], [158]

### ▪ 6.2.4. L'utilisation des boutons des précisions :

L'orthodontiste peut poser des boutons sur les dents pour assurer la fixation des gouttières, ces ajouts peuvent rendre difficile leurs retrait. Par ailleurs, les petits boutons peuvent être visibles quand le patient ne porte pas ses gouttières.[158]

### ▪ 6.2.5. Coloration possible

Les gens qui portent des aligneurs invisibles, n'ont pas besoin de changer tout leur régime alimentaire pour préserver leur état. Cependant, certains aliments qui contiennent des substances susceptibles de laisser des taches très visibles sur les gouttières devraient être évités. Ils comprennent du café, des boissons gazeuses et du thé noir...[156]

### ▪ 6.2.6. Risques de carie dentaire et d'autres problèmes :

Le maintien de mauvaises habitudes de vie pendant le port d'aligneurs, ainsi que le fait d'oublier ou d'éviter de retirer les aligneurs pendant les repas, peut exacerber le risque de caries dentaires, de maladie parodontale, d'inflammation des gencives ou de décalcification. Il est important pour le patient d'éviter de consommer trop d'aliments ou de boissons contenant du sucre, et de conserver une bonne hygiène bucco-dentaire incluant des nettoyages et des entretiens préventifs.

En revanche, si le patient présente des récessions gingivales, un biotype gingival fin, un déficit en gencive attachée, ou un os alvéolaire manquant, le traitement par aligneurs peut entraîner des problèmes parodontaux ou se traduire par un mouvement dentaire excessif, surtout s'il s'agit d'un mouvement particulièrement délicat.[156], [160], [161]

### ▪ 6.2.7. Les troubles de l'élocution temporaires :

Du début du traitement, les aligneurs peuvent entraver la mobilité de la langue et des lèvres. Ces désordres sont temporaires et disparaissent en quelques jours, voire semaines.

Le risque de développer un zéaiement est bien réel. En effet, il est aussi difficile de parler avec sa langue sur le toit de sa bouche que lorsqu'on porte des aligneurs dentaires. Avec le temps, le patient peut s'habituer. Il suffira alors de quelques exercices pour que le problème se résoudre, lire à haute voix, notamment les mots qui débutent par les lettres « S » et « R ».

Cela constituera un excellent exercice pour la langue, qui pourra plus facilement se familiariser aux gouttières au bout d'une semaine.[156]

### ▪ **6.2.8. Le coût du traitement :**

Les aligneurs peuvent représenter un coût significatif pour les patients.

### ▪ **6.2.9. Les douleurs temporaires :**

La modification des gouttières peut causer de la douleur en raison de l'application de nouvelles forces. Ces douleurs peuvent déranger les patients pendant quelques jours, mais ont tendance à s'estomper dès que les gouttières ont été suffisamment portées.

### ▪ **6.2.10. La nécessité d'un praticien certifié :**

Un traitement par gouttières doit nécessairement être réalisé par un praticien certifié et expérimenté. Tout traitement comporte des risques et la certification permet de s'assurer des compétences nécessaires à une prise en charge optimale.[157]

### ▪ **6.2.11. Les irritations linguales :**

Durant le traitement, il est possible qu'une légère irritation survienne même si les dispositifs d'alignement ne sont pas portés pendant les repas. Par ailleurs, il peut y avoir des problèmes de mastication ou de morsure. [162]

### ▪ **6.2.12. La sensibilité à la pression :**

Pour certains patients, le port des aligneurs peut provoquer une sensibilité dentaire lors du passage à l'aligneur suivant de la série, ou peut irriter temporairement les gencives, les joues et les lèvres.

### ▪ **6.2.13. Problème de l'occlusion :**

L'occlusion peut changer au cours du traitement et provoquer un inconfort temporaire pour le patient, jusqu'à nécessiter un ajustement occlusal à la fin du traitement.[161]

### 7. Les limites du traitement avec les aligneurs :

La transparence des aligneurs peut augmenter la probabilité qu'ils soient égarés lorsqu'ils sont retirés. Dans une étude en 1998, en comparant les appareils de rétention Essix et Hawley, Lindaurer et Shoff ont constaté qu'un sixième de leurs patients avaient perdu leur appareil. La majorité de ces pertes étaient attribuables au fait que les appareils étaient transparents et amovibles (Les aligneurs ont des propriétés très similaires à celles des appareils Essix).

Des études récentes ont montré que les aligneurs ne permettaient pas toujours d'obtenir exactement le mouvement dentaire planifié. Autrement dit, tenter d'effectuer avec eux des mouvements orthodontiques de type torque d'incisives, dérotation des canines ou de prémolaires, ou encore distalisation de molaires est toujours possible en théorie, mais, dans la grande majorité des cas le résultat obtenu n'est pas satisfaisant. Ainsi les résultats d'une étude rétrospective comparative menée en 2014 par Simon et coll, auprès de trente patients avec des aligneurs, indiquent comme résultats, une efficacité globale moyenne de 59 %, et une efficacité de 40 et 42 % environ pour les dérrotations de prémolaires et torques d'incisives, sachant que l'on entend ici par « efficacité » le mouvement réel obtenu par rapport à celui planifié.

Kravitz et Coll ont examiné dans le cadre d'une étude prospective, en 2008, les dérrotations de canines effectuées chez 37 patients au total. Ils sont arrivés à une efficacité moyenne de 32,2 % pour les dérrotations canines maxillaires et de 29,1 % pour les canines mandibulaires. Les résultats d'une autre étude sur des dérrotations indiquent, que le traitement par aligneurs est plus efficace si le mouvement à effectuer par gouttière n'excède pas 1,5 degré. Ils ont été constaté, sur ce point, que le dépassement de cette valeur se traduisait par une efficacité de seulement 23 % contre 41,8 % dans le cas où elle était respectée.

Les résultats d'études sur l'ingression de dents antérieures par aligneurs font état de taux d'efficacité compris entre 41 et 84 %. L'efficacité moyenne pour l'extrusion est de seulement 18,3 %, donc l'obtention de bons résultats dans ce type de mouvement avec des aligneurs est particulièrement difficile.

Le traitement de l'open bite avec des aligneurs a eu un succès limité. Quelques auteurs ont rapporté des difficultés à obtenir une occlusion idéale pendant le traitement de ces cas. Après le retraitement d'un encombrement antérieur et la récurrence d'une béance avec cet appareil, Womack et d'autres ont constaté que la position des incisives centrales maxillaires

était supérieure à celle des canines et des dents postérieures. Malgré une légère extrusion antérieure observée, elle n'était pas suffisante pour obtenir un recouvrement idéal.

De nombreux auteurs ont suggéré que les appareils amovibles ont un potentiel limité pour corriger les malocclusions importantes. L'absence mécanique inter-arcade peut expliquer cette limitation.

Parce qu'il s'agit d'un appareil amovible, l'aligneur a un contrôle très limité sur les mouvements précis des dents. Le parallélisme de la racine pendant la fermeture de l'espace après l'extraction, le redressement de la dent, les rotations importantes de la dent et l'extrusion de la dent ont connu un succès mitigé.

Le temps de traitement du clinicien peut être allongé en raison du temps supplémentaire requis pour la documentation pendant la préparation du dossier. Le plan de traitement doit inclure les mouvements séquentiels pour chaque dent du début à la fin du traitement. Si des changements sont nécessaires après le début du traitement, il faut beaucoup plus de temps et de documentation pour modifier le plan de traitement. Dans une étude en 2002, Womack et autres ont décrit les limitations sévères qui les ont empêchés de terminer l'alignement mandibulaire d'un patient en raison du délai entre la planification du traitement virtuel et la livraison de l'appareil.[160], [163]

*Chapitre IV : Le système  
Invisalign*

### 1. Présentation du système Invisalign :

En 1997, deux étudiants en MBA, deux orthodontistes et un ingénieur informaticien ont créé Align Technology Inc. Leur concept était simple : comment exploiter l'évolution des technologies pour redresser les dents. Leur concept obtient l'approbation de la Food and Drug Administration aux États-Unis l'année suivante. Align Technology était donc né et était rapidement devenu le pionnier du marché invisible orthodontique.[164], [165]

Le système Invisalign® développé ainsi, découle de l'utilisation conjointe de deux techniques :

- Le CAD-CAM permet de numériser par tomographie de l'empreinte, prise avant le début du traitement, pour obtenir une configuration 3D et permettant une prévisualisation virtuelle de l'ensemble du traitement étape par étape.
- Stéréolithographie à résine liquide (imprimantes 3D) à usage industriel, permettant la fabrication d'une série d'aligneurs à partir de leurs images 3D par conception assistée par ordinateur.[164]

En outre, Le système Invisalign® repose sur 3 grands piliers :

- **Le scan Itero®** : Ce système a beaucoup évolué depuis 2011, lorsque le premier scan a capturé une image de la dentition en 40 minutes environ, et arrive aujourd'hui avec des systèmes de capture vidéo multi-focus, permettant de capturer des empreintes en 4-5 minutes.
- **Le logiciel de simulation virtuelle 3D Clin Check Pro®**: il permet de visualiser les surfaces dentaires, leur anatomie et l'occlusion initiale avec une précision de 50 microns, suivies de la progression du mouvement dentaire et la position finale souhaitée.
- **Les aligneurs transparents** : ce sont actuellement les seules gouttières du marché qui sont composées de la technologie multi-couches, ce qui leur permet d'intégrer la fonctionnalité des systèmes de force, de permettre l'application du torque, l'intégration des crochets ou découpes pour les élastiques intermaxillaires et aussi des fonctionnalités couplées avec les attachements optimisés autorisant des mouvements difficiles de racine, de rotations, d'égression et d'ingression. Selon le degré de difficulté de ces mouvements, des auxiliaires devront être intégrés à la technique.[166]

Le système Invisalign fonctionne selon le principe du mouvement dentaire en douceur par petites étapes bien contrôlées. Comme pour les appareillages traditionnels, les aligneurs déplacent les dents en appliquant une pression contrôlée sur celles-ci. La différence majeure réside dans le fait que dans la méthode Invisalign, on contrôle non seulement la pression, mais également la durée d'application de la pression. A chaque étape, on ne déplace que certaines dents de façon segmentaire. Les étapes de déplacement sont définies avec précision dans le plan de traitement, le «Clin Check», selon leur direction et leur taille. Etant donné que chaque aligneur Invisalign change la position de la dent de d'environ 0,2 mm, la surcharge du parodonte est empêchée, parce que la quantité de déplacement au sein de ce dernier est inférieure à son épaisseur marginale de 0,5 mm. Grâce aux excellentes propriétés des matériaux et à une grande flexibilité, cette transmission de force biologique à travers les gouttières est hautement efficace et pourtant absolument indolore : on ne sent qu'une légère pression.

Avec environ 25 à 50 aligneurs Invisalign la plupart des malpositions dentaires peuvent être corrigées confortablement. Selon le niveau de difficulté, la durée du traitement varie entre 6 et 24 mois.[167]

Tous les matériaux d'alignement et de rétention Invisalign sont fabriqués à partir de polymères thermoplastiques de qualité médicale et de poids moléculaire élevé. Ces matériaux ont été sélectionnés pour être utilisés dans les aligneurs et les dispositifs de retenue en fonction de leurs propriétés et de leur classification de sécurité, et ont une longue histoire d'approbations de la FDA pour une utilisation à long terme à l'intérieur du corps humain. Les tests effectués pour déterminer la biocompatibilité de ces matériaux montrent qu'ils sont biocompatibles et satisfont à toutes les exigences réglementaires applicables et aux seuils de port humain en bouche[168]

## **2. La mise en œuvre du plan de traitement :**

### **2.1. L'étape clinique :**

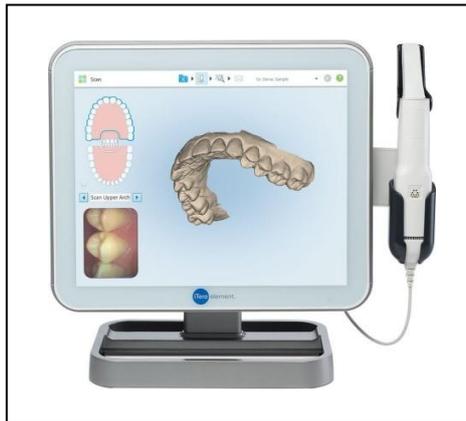
Comme pour toute technique, chaque traitement Invisalign© est basé sur un dossier complet : observation clinique détaillée, photographies endobuccales et exobuccales, bilan radiographique (cliché panoramique et téléradiographie de profil) et enfin empreintes des arcades dentaires.[169]

Une fois le plan de traitement est validé et accepté par le patient, le praticien réalise des enregistrements cliniques.

- **L’empreinte numérique :**
  - **Scanner intra oral: iTero®**

C’est un scanner intra-oral compatible avec Invisalign®

Un scanner intra oral peut être réalisé à l’aide de la console iTero®, qui correspond à une visualisation 3D en temps réel du scanner numérique et donc des arcades (le séquençage de vidéo en mouvement). Les scanners iTero®, fonctionnent sur une plate-forme unique fonctionnant avec l’iTero Orthodontic Digital Ecosystem®, un logiciel permettant aux données 3D numérisées d’être transmises directement à AlignTechnology lorsque les scanners iTero® sont saisis.[170]



**Figure 63: Scanner 3D intra-oral iTero®. [171]**

Par conséquent, il faut environ 60s pour un opérateur bien formé pour réaliser le scannage de l'arcade dentaire supérieure et inférieure.

ITero® dispose également d'un capteur de couleur intégré et d'un système d'objectif à double ouverture qui capture simultanément des images, couleur 2D et des scans laser 3D très précis. Les données sont automatiquement enregistrées sur le disque dur du système toutes les 2s.[75]

Align Technology Inc a récemment actualisé son site web pour inclure une liste de scanners intra-oraux tiers qualifiés pour la soumission de cas d'Invisalign, en plus de leur gamme de scanners intra-oraux iTero. Cette liste comprend les scanners suivants :

- Scanner 3M True Definition[172]
- Scanner Dentsply Sirona CEREC Omnicam (compatible, mais le PrimeScan ne l'est pas.)
- Scanner 3Shape Trios 2, Trios 3, y compris Trios 3 Basic (ne sont pas acceptés qu'en dehors des États-Unis, du Japon et de la Chine) :[173]

3 Shape, leader mondial des solutions numériques pour la dentisterie, et Align Technology, Inc. créateur d'Invisalign®, ont réglé les litiges en cours entre les deux sociétés en matière de contrefaçon de brevet et d'antitrust. Les termes du règlement sont confidentiels. [174]

Cette collaboration, permettra de soumettre des empreintes numériques complètes au lieu d'impressions traditionnelles en PVS lors du processus de soumission de cas.

De plus, un accord de collaboration distinct a été conclu pour améliorer le flux de travail d'exportation STL existant avec les scanners iTero et les partenaires de laboratoire utilisant le logiciel Dental System de 3Shape. Cela vise à garantir une meilleure cohérence pour les clients qui utilisent ce flux de travail spécifique. Ces développements ont pour objectif d'offrir aux professionnels de la dentisterie une plus grande flexibilité et de meilleures options lorsqu'ils utilisent les technologies d'Align Technology et de 3Shape dans le cadre du traitement Invisalign.[175]

### **2.2. Etape laboratoire :**

Ces empreintes sont alors envoyées par transporteur puis numérisées dans un scanner, d'où la matière plastique, et on obtient alors un moulage numérique. Dans le cas d'empreintes optiques, elles sont directement téléchargées par Internet dans l'IDS.

Commence ensuite un travail de laboratoire (numérique) : tout d'abord, les moulages sont mis en occlusion via un logiciel appelé TREAT. Les dents sont séparées les unes des autres, les collets sont marqués, ce qui permet de délimiter une gencive simulée. Ainsi, nous

avons des modèles virtuels du patient. Chaque dent est vérifiée pour éliminer des artefacts apparus au moment de l’empreinte ou lors du scan de celle-ci. Les plus gros défauts amènent à un rejet de l’empreinte qui devra être reprise. Les axes des couronnes sont marqués. Tous les documents sont donc chargés sur une plateforme d’échange appelée IDS (Invisalign© Doctor Site). Pour y avoir accès, il faut disposer d’un identifiant et d’un mot de passe fournis par Align Technology après une certification au cours de laquelle les confrères orthodontistes apprennent le fonctionnement de l’outil Invisalign©. Sur l’IDS, le praticien pourra à ce moment-là donner ses consignes de traitement dans les sens vertical, transversal et sagittal.[169]

### ▪ 2.2.1. La charte de prescription thérapeutique :

Le praticien travaille directement sur le VIP (cabinet virtuel Invisalign) afin d’indiquer aux techniciens le plan de traitement prévu pour le patient et c’est ainsi que débute la procédure de création de Clin Check. [176]

Le processus comprend quatre étapes :

1. Entrer les informations du patient et du praticien.
2. Sélectionner une approche de traitement.
3. Joindre les photos numériques.
4. Réception d’un rapport dans deux jours.[177]

Pour la planification d’un cas, on doit :

- Vérifier l’occlusion initiale avec les photographies envoyées pour assurer que l’occlusion est réglée correctement.
- Examiner l’onglet des commentaires ; c’est dans cet onglet que le technicien communique avec le praticien. (Les problèmes liés aux empreintes ou au scanner, et les commentaires sur l’attachement).
- Revoir la position finale de l’occlusion. Elle doit être vérifiée pour s’assurer que l’occlusion répond aux objectifs du traitement. La radiographie panoramique doit également être vérifiée à ce moment-là pour s’assurer que toutes les inclinaisons des racines avant le traitement ont été corrigées dans l’occlusion finale.

- Vérifier le nombre d'étapes du traitement.
- Évaluation des mouvements du Clin Check : cette phase est essentielle pour vérifier soigneusement le mouvement de chaque dent, de la position initiale à la position finale.
- Examen des vues occlusales: décider si une expansion symétrique ou asymétrique va être réalisée.
- Vérifier l'outil de superposition; elle permet de comparer la situation avant et après le traitement de chaque dent.
- Evaluation du mouvement des dents; afin de visualiser la difficulté des mouvements dentaires, le logiciel permet de les définir: facile (pas de couleur), modéré (point bleu), avancé (point noir: ce qui signifie que le praticien doit prévoir d'utiliser des techniques auxiliaires).



**Figure 64: Plan de traitement.**[178]

- Vérifier les attachements : le logiciel placera automatiquement les attaches nécessaires lors des mouvements d'intrusion, de rotation et de basculement de la couronne. Les mouvements dentaires sur les molaires et les incisives mandibulaires doivent être évalués pour vérifier si des attachements sont nécessaires.
- Le nombre, le lieu et le moment de l'RIP doivent être soigneusement examinés.

Plan de traitement 1	
Commentaires du Praticien	
Dent 1.3, Dent 1.2 - changement RIP	Dent 2.3 ajustée
Dent 1.2, Dent 1.1 - ajouter RIP	Dent 3.3 ajustée
Dent 1.1, Dent 2.1 - changement RIP	Dent 3.2 ajustée
Dent 2.1, Dent 2.2 - changement RIP	Dent 3.1 ajustée
Dent 2.2, Dent 2.3 - changement RIP	Dent 4.1 ajustée
Dent 2.3, Dent 2.4 - supprimer RIP	Dent 4.2 ajustée
Dent 3.4, Dent 3.3 - supprimer RIP	Dent 4.3 ajustée
Dent 3.3, Dent 3.2 - ajouter RIP	Dent 1.7 - Marquer comme non déplaçable
Dent 3.2, Dent 3.1 - ajouter RIP	Dent 1.6 - Marquer comme non déplaçable
Dent 3.1, Dent 4.1 - ajouter RIP	Dent 1.5 - Marquer comme non déplaçable
Dent 4.1, Dent 4.2 - ajouter RIP	Dent 1.4 - Marquer comme non déplaçable
Dent 4.2, Dent 4.3 - ajouter RIP	Dent 2.4 - Marquer comme non déplaçable
Dent 4.3, Dent 4.4 - supprimer RIP	Dent 2.5 - Marquer comme non déplaçable
Dent 1.3 ajustée	Dent 2.6 - Marquer comme non déplaçable
Dent 1.2 ajustée	Dent 2.7 - Marquer comme non déplaçable
Dent 1.1 ajustée	Dent 3.7 - Marquer comme non déplaçable
Dent 2.1 ajustée	Dent 3.6 - Marquer comme non déplaçable
Dent 2.2 ajustée	Dent 3.5 - Marquer comme non déplaçable
	Dent 3.4 - Marquer comme non déplaçable
	Dent 4.4 - Marquer comme non déplaçable
	Dent 4.5 - Marquer comme non déplaçable
	Dent 4.6 - Marquer comme non déplaçable

**Figure 65: Annotations du praticien sur le plan de traitement Invisalign, assisté par le logiciel informatique Clin Check. [176]**

- Examen des coupes de précision: il n'est pas recommandé de prescrire des coupes de précision sur le formulaire de prescription initial afin de permettre au logiciel de positionner les attaches de manière plus adéquate en fonction du mouvement des dents, dans la deuxième évaluation du ClinCheck, les coupes de précision peuvent être ajoutées (permettent le port d'élastiques intra-oraux à des fins d'ancrage dans les corrections de classe II et de classe III). [179]

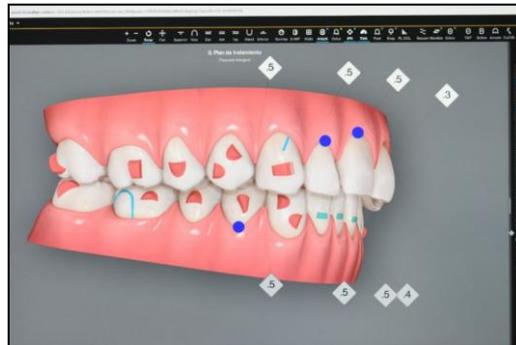
### ▪ 2.2.2. Clin Check :

C'est un logiciel qui planifié le plan de traitement Invisalign® personnalisé et animé en 3D. Basé sur les modèles 3D numérisés ou les empreintes en PVS, le Clin Check® du patient peut maintenant être créé par le technicien virtuel orthodontique (VOT) d'AlignTechnology.

Quelques jours après, le VOT envoie le Clin Check® à l'orthodontiste-référent qui peut vérifier le traitement proposé sur le site Web d'Invisalign®. Il est mis en ligne sur l'IDS. Les mouvements dentaires dans le scénario du Clin Check® peuvent être modifiés à volonté par l'orthodontiste. [170]

Le nombre d'étape d'un Clin Check© varie de 7 jusqu'à 70 aligneurs, voire plus. Classiquement, un traitement en technique Invisalign© comprend une trentaine d'aligneurs.[169]

Le Clin Check® final est présenté au patient. S'il l'accepte, l'orthodontiste passe la commande des aligneurs. L'orthodontiste reçoit généralement la série d'aligneurs deux semaines plus tard.[170]



**Figure 66: Clin Check de Invisalign.[180]**

ClinCheck Pro 6.0 est le logiciel innovant de planification de traitement numérique qui offre une flexibilité et une visualisation améliorées pour les traitements. Le logiciel fonctionne à l'aide des algorithmes uniques, avec la version ClinCheck Pro 6.0, on a la liberté d'utiliser l'outil de visualisation In-Face et d'établir le plan de traitement du patient à partir d'une photo de son visage.[181]

### ▪ 2.2.3. Fabrication :

Les aligneurs sont fabriqués dans une usine à Costa Rica. Cette usine va fabriquer en une seule fois tous les aligneurs du patient. Tout d'abord, les modèles sont fabriqués grâce à une technique de CAD/CAM (stéréolithographie): un laser brûle une résine liquide et « monte » le modèle couche par couche. Ce modèle est chargé dans un automate et une plaque thermoformée vient mouler le modèle. Enfin, cette plaque est découpée le long des collets. Tous les aligneurs sont polis, désinfectés et envoyés par transporteur jusqu'au cabinet du praticien.[169]

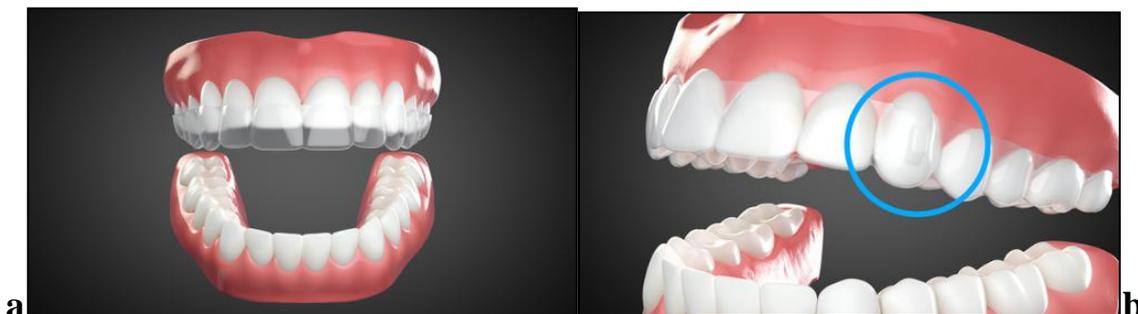


**Figure 67: Le système de stéréolithographie d'Align Technology.[78]**

### **2.3. La réception et la mise en place :**

Une fois le patient confortablement installé, des attachements sur certaines dents vont tout d'abord être collés. Les attachements appelés aussi taquets. Invisalign propose un guide des attaches placées par défaut, mais le choix final du type, de l'emplacement et du moment de pose ou de retrait de l'attache est de la responsabilité de l'orthodontiste. Il existe différents types d'attaches dont la réalisation en bouche se fera grâce au matériau de composite d'obturation fluide et photopolymérisable disposé dans un aligneur spécifique appelé Template.[177]

Il en existe de plusieurs formes (rectangulaire, ovoïde, en forme de goutte d'eau) et de plusieurs tailles (grand ou petit). Il existe également les Power Ridges et Bite Ramps (rampes d'occlusion) qui représentent les innovations très récentes d'Invisalign® et qui sont déjà incorporés dans la gouttière lors de l'impression en 3D.[170]



**Figure 68:a- Essayage du modèle. b-Identification de position de tous les taquets. [182]**

C'est généralement pendant cette consultation que la réduction inter proximale (RIP) est effectuée (selon le calendrier fourni par Align Technology), bien que cela puisse être programmé plus tard dans le Clin Check® si l'orthodontiste le souhaite. Celui-ci peut être effectué sur des dents ne nécessitant pas de rotation ; sinon il doit être reporté après la dérotation de cette dent.[170]

C'est une excellente méthode de correction des encombrements dans les traitements adultes. Elle présente l'avantage majeur, même si l'on perd un peu d'email, de ne pas amputer le patient d'une ou plusieurs dents, et donc de conserver l'os alvéolaire correspondant, et de diminuer la durée de traitement en réduisant dans certains cas le nombre des étapes.[177]

Un jeu de gouttières est fabriqué en guise de moule pour l'étape de pose de ces taquets une fois les attachements collés, les aligneurs n°1 (maxillaire et mandibulaire) sont mis en place et leur adaptation est vérifiée. Toutes les informations pratiques sont données au patient, notamment comment et quand mettre et enlever ses aligneurs, comment les nettoyer. À ce moment-là, il est indispensable d'insister sur la coopération et la bonne observance des recommandations quant au port des aligneurs. [169]

### **2.4. Suivi et contrôle :**

Lors de la deuxième visite, le patient est à l'aise et heureux d'utiliser les aligneurs à plein temps. L'RIP est vérifié à l'aide du fil dentaire et poursuivi si nécessaire. L'orthodontiste adapte l'aligneur 2 et donne l'aligneur 3 au patient pour qu'il puisse remplacer l'aligneur 2 après deux semaines d'utilisation. Il revient ensuite pour une visite de contrôle toutes les 6 à 8 semaines.[183]

### **2.5. Contention :**

Une fois que le patient a terminé le traitement par gouttières Invisalign, il doit porter des gouttières de contention « Vivera » pour s'assurer que la nouvelle position de ses dents est bien maintenue.[184]

### 3. Les différents types d'Invisalign :

#### 3.1. Invisalign first :

Invisalign® First est un traitement Invisalign® destiné aux enfants âgés de 6 à 10 ans. Il est constitué de gouttières en plastique lisses, transparentes et amovibles, qui permettent un réalignement progressif des dents et des mâchoires.



**Figure 67: Invisalign first.[185]**

Invisalign First est un dispositif de traitement orthodontique précoce, spécialement conçu pour les jeunes enfants et peut être utilisé pour corriger les problèmes de développement et d'expansion des arcades, de chevauchement et d'espacement des dents, de protrusions dentaires et d'apparence générale du sourire de l'enfant.

Ces gouttières sont conçues de façon à élargir graduellement la mâchoire d'un enfant en croissance. En élargissant la zone de l'arcade au fil du temps et en modelant la mâchoire de l'enfant grâce à ce que l'on appelle l'expansion de l'arcade dentaire.

La procédure d'expansion de l'arcade dentaire commence par une consultation visant à déterminer si l'enfant est un candidat approprié pour Invisalign First. Une fois approuvé, le dentiste peut commencer à prendre des photos, des radiographies et des empreintes du sourire de l'enfant le même jour. Ces informations seront envoyées à un laboratoire Invisalign où un dispositif Invisalign First personnalisé sera fabriqué.

Cela prendra plusieurs semaines pour que l'aligneur soit prêt. Dès que la gouttière est prête, l'enfant devrait retourner voir son dentiste. Au fil du temps, l'appareil déplacera les dents selon les besoins et de nouveaux appareils de rétention seront nécessaires pour les phases suivantes du traitement, il peut avoir besoin d'une paire complète de gouttières ou d'une seule gouttière. Il peut s'avérer nécessaire de fixer certaines dents à leur surface. Les attaches permettent de diriger la pression de l'appareil de rétention vers les dents nécessaires

Parmi ses avantages : il est adapté aux enfants actifs, moins de rendez-vous de suivi, mais nécessite une coopération attentive et peut prendre plus de temps pour certains problèmes dentaires ou d'occlusion.[186]–[188]

### **3.2. Invisalign Teen :**

Comme son nom l'indique, l'invisalign Teen est un traitement destiné aux adolescents à partir de 12ans.

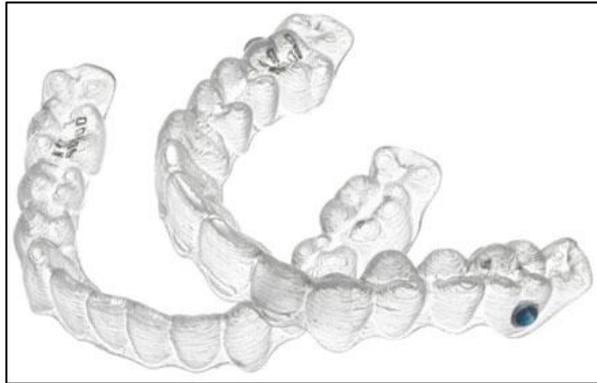
Invisalign Teen est assez similaire à Invisalign pour adultes, mais il existe deux différences significatives entre les deux traitements. Contrairement à Invisalign pour adultes, les gouttières utilisées dans Invisalign Teen ont un petit point sur le dos. Ce point changera de couleur du bleu au blanc en fonction de la fréquence à laquelle un adolescent porte ses gouttières. De toute évidence, plus les adolescents portent leurs gouttières Invisalign, plus la couleur du point changera facilement de teinte.

Les gouttières Invisalign conçues pour les adultes n'ont pas de point. C'est parce qu'on suppose que les adultes ont l'autodiscipline nécessaire pour porter leurs gouttières aussi souvent qu'ils le devraient.

La deuxième différence entre Teen Invisalign et Invisalign pour adultes est le nombre d'aligneurs que chaque type de patient recevra. Parce que les adolescents sont si actifs et qu'ils ne sont parfois pas aussi responsables de leurs affaires que les adultes, les adolescents reçoivent plus d'aligneurs de remplacement que les patients adultes.

Outre les différences que nous venons de mentionner, le traitement Invisalign pour les adultes et les adolescents est le même. Invisalign peut être utilisé pour traiter les mêmes types

de problèmes dentaires et les matériaux utilisés sont les mêmes pour les deux groupes d'âge.[189]



**Figure 68: Invisalign Teen.[190]**

### **3.3. L'invisalign full:**

Comme les autres formules proposées par la marque pionnière de l'orthodontique invisible. Invisalign Compréhensive Full est un traitement orthodontique ultramoderne spécifiquement conçu pour les adultes présentant des malocclusions complexes.

Invisalign Full peut traiter tous les degrés de gravité orthodontique du plus léger au plus sévère les malocclusions, la suroclusion, articulé croisé, béance, encombrements...

Cette formule assure un suivi à long terme pour corriger au mieux les problèmes d'orthodontie et il dure au moins 6 mois et peut s'étendre sur une année ou même un peu plus. Elle fonctionne dans plus de 90% des cas, cela corrigera les dents le plus discrètement possibles et il s'adresse à tous les âges. [191], [192]

### **3.4. Invisalign lite :**

Il s'agit d'un système de gouttière transparente invisible qui permet de résoudre des problèmes dentaires mineurs et modérés en seulement six à sept mois.

Ce traitement convient aux adultes présentant de légers malpositions et plus précisément :

- Espace réduit entre les dents.
- Dents légèrement chevauchées.
- Quelques dents un peu tordues.
- Corrections d'une récurrence des anciens traitements orthodontiques.

Le traitement peut aller jusqu'à 14 séries d'aligneurs. Il est recommandé de remplacer chaque gouttière environ toutes les 1 à 2 semaines et de consulter le dentiste toutes les 6 à 8 semaines. Leur rôle est d'appliquer une force légère et continue aux dents pour les mettre dans la position prévue. Quelques mois plus tard, les dents se redressent graduellement, discrètement et presque sans gêne.[193], [194]

### **3.5. Invisalign Go :**

Invisalign Go est la nouvelle formule remplaçant Invisalign Lite. Il fonctionne sur le même principe que les autres traitements de la marque tels qu'Invisalign Full ou Invisalign Teen, il peut traiter les chevauchements, les diastèmes, les récurrences, et les autres anomalies orthodontiques mineures.

Cette technique est utilisée pour améliorer l'apparence des dents de la partie antérieure (de la première prémolaire à la première prémolaire), et pour le traitement d'une ou des deux arcades dentaires. C'est l'un des plus brefs traitements d'Invisalign, en 7 mois, il est possible de trouver un sourire resplendissant. Avec le GO, il n'y a pas de mouvements sur les molaires. L'objectif consiste à apporter les corrections, sans modifier le calage postérieur.

La différence principale, c'est qu'il n'a pas besoin de prendre rendez-vous avec un orthodontiste certifié Invisalign pour bénéficier d'Invisalign Go. Il peut aller chez un omnipraticien.

Invisalign Go s'adapte à d'autres types de traitements orthodontiques tel que les facettes dentaires ou autres. Il s'agit d'un type de traitement simplifié mais rigoureux, basé sur des technologies d'analyse dentaire approfondies et exactes.

### ▪ *Invisalign Go vs Invisalign Go Plus:*

Les cas traités peuvent également être légèrement plus complexes dans le cas d'Invisalign Go Plus. La grande différence entre les deux méthodes vient de la technique utilisée. Le Go nous permet de passer des prémolaires aux prémolaires dans la limite de 20 aligneurs. Avec le GO plus, il est aussi possible de déplacer les premières molaires (package limité à 26 aligneurs).[192], [195]

### **3.6. L'invisalign I7 :**

Invisalign I7 est un traitement approprié de la gamme Invisalign qui fournit une solution adaptée aux personnes nécessitant des traitements orthodontiques mineurs. Ce traitement est assez court comparé à d'autres traitements Invisalign.

Ces traitements constituent une excellente option pour ceux qui ont déjà subi un traitement orthodontique et qui constatent que leurs dents ont bougé. Le traitement inclut 7 aligneurs transparents et nous pouvons aussi ajouter plus si les dents ont besoin de mouvement supplémentaire. Ce traitement convient aux patients qui présentent un espacement mineur, un encombrement ou une rechute orthodontique.[196]

### **3.7. Vivera Retainers :**

Les appareils de rétention Vivera sont des appareils en thermoplastique transparent qui sont conçus et fabriqués par les fabricants d'Invisalign dans la même forme, en utilisant la même technologie de pointe d'imagerie 3D. Nous pouvons également les appeler Invisalign Vivera retainers car ils ressemblent beaucoup aux alignements Invisalign mais sont plus épais et durables. Ces appareils de rétention ne sont pas uniquement destinés à ceux qui ont suivi un traitement Invisalign ; en fait, ils peuvent également être utilisés par les patients qui ont suivi un traitement orthodontique traditionnel.

L'appareil de rétention doit être porté à plein temps pendant 3 à 6 mois, puis il peut être limité à la nuit pour le reste de la période, qui peut être de 2 ans ou plus. Cela dépend de cas et de dentiste. [197], [198]



**Figure 69: Vivera Retainers.[199]**

### **4. Les innovations et nouveautés en system invisalign :**

#### **4.1. Matériau Smart Track :**

Smart Track est un matériau transparent, solide, fin , flexible hypoallergénique, inerte et stable biologiquement pour aligneur, fabriqué par Align Technology.[200]

Ce matériau a des caractéristiques de performance nécessaires à un excellent contrôle du mouvement des dents et du traitement dans son ensemble. Parmi ces critères : la clarté, le taux de charge/déflexion, l'élasticité et la récupération de la forme, l'activation, la force d'insertion, la plage de travail, l'ampleur de la force et le confort du patient .

Il maintient une force plus constante tout au long de la période où le patient porte les gouttières afin de susciter une excellente réponse biologique pour le mouvement orthodontique. Au contraire des matériaux des gouttières conventionnelles qui subissent une relaxation des contraintes lorsque leurs molécules se réarrangent et perdent une quantité substantielle de force dans les premiers jours d'usure des gouttières.

Ce matériau s'adapte plus précisément à la morphologie de la dent, aux attaches et les espaces inter proximaux, ce qui stabilise les contacts entre la gouttière et les dents et permet un meilleur contrôle du mouvement des dents .[201]

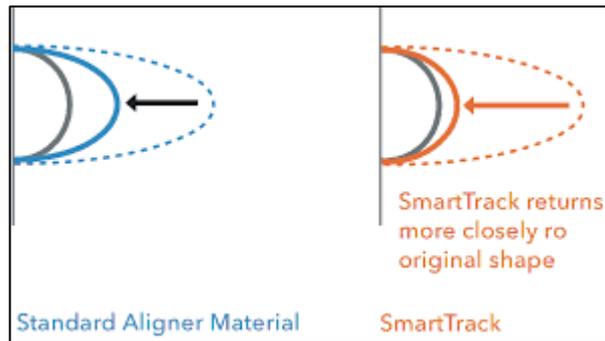


Figure 70: Matériau de SmartTrack. [202]

### 4.2. Invisalign avec avancement mandibulaire :

Le traitement Invisalign avec avancement mandibulaire est destiné aux enfants et aux adolescents présentant des malocclusions rétrognathiques de classe II en dentition permanente ou en dentition mixte tardive stable.[203]

Ces Invisaligns innovantes sont les premiers aligneurs approuvés par la FDA pour le traitement des malocclusions de classe II et des supraclusions. Ces appareils sont fabriqués dans le même matériau que les Invisalign standard, 'Invisalign Teen' et 'Invisalign First'. Cependant, ils comportent également des ailes de précision fabriquées à partir du matériau breveté Smart Track® et situées entre les prémolaires et les premières molaires.

Lors de mordillement, les ailettes s'engagent et maintiennent la mandibule dans une position avancée qu'elle se déplace progressivement vers l'avant, donc elle va atteindre la taille idéale pour s'adapter au maxillaire et corriger le recouvrement. Pendant que les gouttières travaillent à la correction orthopédique, elles alignent et nivellent simultanément les dents.[204]

#### ▪ *Les avantages :*

- Un traitement efficace : permet de déplacer simultanément la mâchoire vers l'avant et les dents du patient.
- Confort du patient : les patients se disent satisfaits et plus à l'aise par rapport aux appareils fixes traditionnels.

- Cliniquement prouvé : une étude clinique menée auprès de quarante patients a démontré que le traitement Invisalign avec avancement mandibulaire est efficace pour traiter les malocclusions de classe II chez les adolescents en pleine croissance.
- Maintenant plus durable : des modifications importantes apportées à la conception des ailes les rendent plus durables.[203]



**Figure 69 : Appareil d'avancement mandibulaire. [198] Figure 70 : Avancement mandubilaire. [199]**

### **4.3. La téléconsultation et la visioconférence :**

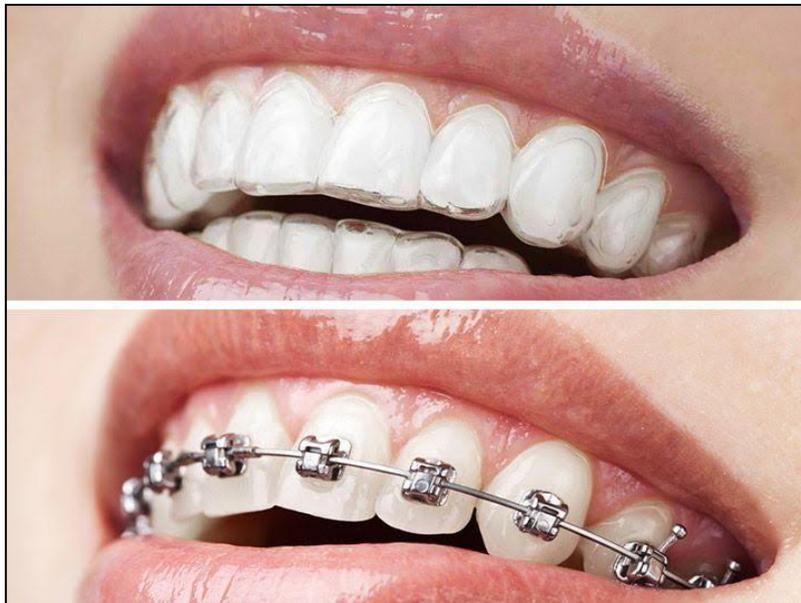
La téléconsultation est une consultation réalisée à distance d'un patient par un médecin (généraliste ou de toute autre spécialité médicale), le patient pouvant être assisté ou non, à cette occasion, par un autre professionnel de santé.[205]

La visioconférence offre des avantages potentiels dans un pays faiblement peuplé et les régions rurales en particulier qui pourraient bénéficier de l'utilisation de la téléconsultation, puisque le temps de déplacement vers les lieux de prestation des soins de santé pourrait être très long, la téléconsultation pourrait améliorer la disponibilité des services dentaire.[206]

*Chapitre V : Aigneurs versus  
Multi-attaches*

L'apparition sur le marché d'un nouvel appareil orthodontique est toujours la source de polémiques, et de batailles entre les anciens et les modernes orthodontistes. Les anciens attachés à leurs techniques, qu'ils possèdent bien et leur donne satisfaction, n'ont pas confiance dans les nouveaux appareils et souvent les discréditent.

Les aligneurs et les appareils fixes fonctionnent de la même manière pour corriger les problèmes d'alignement et d'espacement des dents. Bien qu'ils aient le même objectif, ils diffèrent dans plusieurs aspects tels que le prix, l'esthétique, le confort, l'efficacité et la rapidité. [207], [208]



**Figure 71 : Les aligneurs versus multi-attaches.**[209]

### **1. Hygiène :**

Les aligneurs facilitent le brossage des dents et aident à prévenir l'accumulation de la plaque dentaire. Comparés aux appareils orthodontiques fixes, les gouttières présentent moins de restrictions pour le brossage des dents et l'utilisation du fil dentaire, car il suffit de les retirer.[210], [211]

Il est beaucoup plus difficile de se nettoyer les dents avec un appareil dentaire qu'avec des gouttières. Si le nettoyage n'est pas effectué de manière adéquate, les dents peuvent subir

de réels dommages. Cela peut conduire à la décision de retirer l'appareil dentaire prématurément, avant d'avoir obtenu un résultat final optimal.[212]

### **2. Alimentation :**

Les patients traités par des gouttières transparentes ont signalé une amélioration de leur capacité de mastication, ainsi qu'une plus grande liberté quant aux quantités et aux types d'aliments qu'ils peuvent consommer. De plus, ils ont rapporté moins d'ulcérations des muqueuses. Ainsi, le traitement par gouttières transparentes répond aux besoins des patients en matière de consommation alimentaire. En revanche, les brackets métalliques sont associés à un régime alimentaire strict.[213], [214]

Certains aliments qui peuvent coller ou endommager les brackets doivent être évités comme les aliments durs, (les pommes, les poires, les carottes, le pop-corn et les noix), ainsi que les aliments collants, comme les bonbons et les chewing-gums.[207]

### **3. Santé parodontale :**

Le traitement orthodontique peut améliorer la santé parodontale dans certaines circonstances, mais également entraîner des lésions des tissus parodontaux. Le maintien d'une bonne hygiène buccodentaire pendant le traitement peut être plus difficile, ce qui peut entraîner l'accumulation de plaque et l'inflammation parodontale.

De nombreuses études ont évalué l'effet des appareils orthodontiques sur la santé parodontale. Dans une étude portant sur 50 adolescents présentant des problèmes orthodontiques similaires, Abbate et al, ont constaté que les adolescents portant des aligneurs avaient des indices de santé parodontale plus élevés que ceux traités avec des appareils fixes après une durée de traitement similaire.

D'un point de vue clinique, le traitement par aligneur semble être plus sûr pour les tissus parodontaux par rapport aux techniques de traitement par appareils fixes. Cela peut s'expliquer par le fait que les aligneurs favorisent une meilleure hygiène buccale et réduisent les surfaces propices à la rétention de plaque. Sur la base de ces observations, les aligneurs peuvent être utilisés dans le traitement orthodontique des patients présentant une mauvaise santé parodontale.[215]

En revanche, les bagues orthodontiques placées sous les gencives peuvent empiéter sur l'os alvéolaire. Des défauts des tissus mous ou durs peuvent apparaître au niveau des sites d'extraction. Par conséquent, des résultats parodontaux favorables et défavorables sont possibles après un traitement orthodontique. De plus, ce traitement peut être suivi par des appareils de rétention fixes, qui ont été associés à une augmentation de la récession gingivale, à une rétention accrue de plaque dentaire et à des saignements plus fréquents lors du sondage parodontal.[216], [217]

### **4. La résorption radiculaire apicale :**

La résorption radiculaire apicale (RRA), qui correspond à la perte permanente de tissu dur sur l'apex radiculaire d'une dent, est l'un des effets secondaires les plus indésirables observés lors d'un traitement orthodontique. Comparativement aux appareils fixes, les gouttières transparentes sont généralement utilisées dans des cas relativement plus simples où la résorption radiculaire pourrait être moindre.

Les aligneurs transparents exercent potentiellement une force plus légère, de plus, elles permettent un processus de traitement intermittent et un contrôle de force stable grâce à l'utilisation de la technologie assistée par ordinateur. Tout cela contribue à réduire la résorption radiculaire chez les patients traités avec des aligneurs transparents par rapport aux appareils fixes.

Une étude a examiné et comparé la résorption radiculaire apicale chez 70 patients traités avec des aligneurs transparents et des appareils fixes traditionnels à l'aide du CBCT, les résultats ont montré que la prévalence et la gravité de la résorption radiculaire étaient statistiquement et cliniquement inférieures dans le groupe des aligneurs transparents (56,30 % et  $0,13 \pm 0,47$  mm) par rapport au groupe des appareils fixes (82,11 % et  $1,12 \pm 1,34$  mm).[218]

### **5. Biomécanique :**

Multi-attaches :

- Le système de brackets et de fils : Les multi-attaches utilisent un système de brackets et de fils orthodontiques pour exercer des forces sur les dents. Les brackets sont fixés sur la

surface des dents à l'aide d'un adhésif spécifique, et l'arc est inséré à travers les encoches des brackets.

- La transmission des forces : Lorsque l'arc est activé, il exerce une force sur les brackets, qui à leur tour appliquent une pression sur les dents. Cette pression continue permet de déplacer progressivement les dents vers leur position désirée.

- Contrôle de la force : Les multi-attaches offrent un bon contrôle de la force exercée sur les dents. L'orthodontiste peut ajuster la taille et la forme de l'arc orthodontique pour modifier l'intensité de la force appliquée. Des fils de différents calibres peuvent également être utilisés pour obtenir des forces spécifiques sur chaque dent.

- Placement des brackets : L'emplacement précis des brackets sur les dents est essentiel pour assurer une bonne biomécanique des multi-attaches. L'orthodontiste analyse la structure dentaire et planifie la position des brackets en tenant compte de divers facteurs tels que l'alignement initial des dents et les mouvements dentaires souhaités.

- Taille et forme des brackets : La taille et la forme des brackets peuvent influencer la force exercée sur les dents. Des brackets plus petits peuvent offrir un meilleur contrôle des mouvements dentaires, tandis que des brackets plus larges peuvent fournir une stabilité accrue. L'orthodontiste choisit les brackets appropriés en fonction des besoins spécifiques du patient.

- Types de fils orthodontiques : Différents types de fils orthodontiques, tels que les fils en acier inoxydable, en nickel-titane ou en alliage de cuivre-nickel-titane, peuvent être utilisés avec les multi-attaches. Chaque type de fil présente des propriétés biomécaniques spécifiques qui peuvent influencer les mouvements dentaires et la réponse des tissus environnants.

- Ajustements réguliers : Tout au long du traitement, l'orthodontiste effectue des ajustements réguliers de l'arc orthodontique pour maintenir une pression constante et progressive sur les dents. Ces ajustements permettent de contrôler les mouvements dentaires et d'optimiser les résultats du traitement.[219] [220]

Les aligneurs dentaires:

- Propriétés des matériaux : Les aligneurs dentaires sont généralement fabriqués à partir de thermoplastiques transparents, tels que le polycarbonate d'acide polymère (APC) ou le polyéthylène téréphtalate glycol (PETG). Ces matériaux ont des propriétés élastiques qui leur

permettent de s'adapter étroitement aux dents et d'appliquer des forces légères pour les déplacer progressivement. [221]

- Précision du déplacement des dents : Malgré les avancées dans la conception et la fabrication des aligneurs, la précision du déplacement dentaire avec cette méthode reste inférieure à celle des appareils fixes tels que les multi-attaches. Certaines études ont rapporté une précision de l'ordre de 50 %, ce qui signifie que la moitié des mouvements dentaires planifiés ne sont pas réalisés selon les attentes.

- Paramètres influençant les caractéristiques biomécaniques : Plusieurs paramètres peuvent influencer les caractéristiques biomécaniques des aligneurs. Les propriétés des matériaux, telles que leur rigidité et leur élasticité, peuvent avoir un impact sur la force exercée sur les dents. L'épaisseur du matériau peut également jouer un rôle dans la quantité de force transmise. De plus, l'utilisation d'attachements, qui sont de petites protubérances ajoutées aux dents pour améliorer le contrôle des mouvements, peut modifier la distribution des forces.[222]

### **6. Douleur :**

La douleur est une réaction subjective qui varie selon l'individu dans les mêmes conditions de déclenchement. Elle dépend de plusieurs facteurs tels que l'âge, le sexe, l'état émotionnel, le stress, l'intensité de la force appliquée, le seuil de douleur individuel, les différences culturelles et les expériences antérieures de la douleur.[223]

La douleur causée par les aligneurs est généralement associée au changement d'une nouvelle série d'aligneurs, avec une sensation de tension peut être ressentie pendant les premiers jours de port de chaque paire de gouttières , plus une gêne lors de la mastication ou même lorsque les dents entrent en contact l'une avec l'autre, et elle peut durer plusieurs jours.[224] [225] [226]

Lors du port d'un appareil dentaire traditionnel, il est habituel de ressentir certaines douleurs et une sensibilité au niveau des dents pendant quelques jours après la pose initiale ou après un rendez-vous d'ajustement, de plus, un inconfort peut également survenir lors de placement des élastiques pour la première fois ou lors de leur changement. La douleur provoquée par les appareils dentaires traditionnels est plus intense que celle provoquée par les aligneurs transparents, surtout pendant les premiers jours suivant les activations.[227], [228]

### **7. Efficacité du traitement :**

De nombreuses études ont comparé l'efficacité du traitement entre les aligneurs et les appareils fixes. Les conclusions varient en fonction des aspects spécifiques évalués :

- Ke et al. ont conclu que les aligneurs étaient plus avantageux pour le mouvement segmenté des dents, tandis que les appareils orthodontiques fixes étaient plus efficaces pour obtenir une amélioration globale, assurer des contacts occlusaux adéquats, contrôler le torque des dents et augmenter la largeur transversale et la rétention.
- Galan-Lopez et al. ont constaté que les appareils fixes offraient un meilleur contrôle des racines et que la version vestibulo-linguale et les contacts occlusaux étaient moins satisfaisants avec les aligneurs. Ils ont également noté que bien qu'il soit possible de traiter des malocclusions complexes avec des systèmes en matériau plastique, les résultats étaient moins précis que ceux obtenus avec des appareils fixes.
- Dans une revue systématique menée par Pithon et al, les aligneurs étaient considérés comme efficaces pour corriger l'encombrement dentaire, mais présentaient des limites en ce qui concerne l'ingression et l'égression des dents, ainsi que l'incapacité à favoriser un contact occlusal adéquat. De plus, ils ont observé une récurrence plus élevée de l'encombrement avec le système Invisalign® par rapport aux appareils orthodontiques fixes conventionnels.[229]

### **8. Indication et contre-indication :**

Les aligneurs sont indiqués en cas d'encombrement léger, de dents irrégulières, de problèmes d'espacement, d'occlusion profonde et d'élargissement du sourire. Ce traitement est adapté aux personnes de toutes les tranches d'âge y compris les jeunes enfants, les adolescents et les adultes. Les indications des aligneurs sont généralement similaires à celles du traitement orthodontique fixe, à l'exception des cas complexes présentant un encombrement important, une supraclusion marquée ou une béance importante, pour lesquels les aligneurs peuvent ne pas être recommandés. [230], [231]

Il convient de noter que certains cas spécifiques peuvent ne pas être adaptés au traitement par aligneurs. Cela inclut les cas d'usure dentaire avancée, de mauvaise fonction d'occlusion, de douleurs articulaires, de problèmes d'élocution, d'apnée du sommeil et d'encombrement dentaire important. Dans ces situations, d'autres options de traitement, y

compris les appareils orthodontiques fixes, peuvent être plus appropriées pour obtenir les meilleurs résultats.[232]

### **9. La durée du traitement :**

En ce qui concerne la durée de traitement, les résultats de la méta-analyse ont montré que le traitement au moyen des aligneurs était plus court que le traitement avec des appareils fixes. Le même résultat a été rapporté par Zheng et al, que les aligneurs avaient un avantage significatif en ce qui concerne le temps passé au fauteuil et la durée du traitement par rapport aux appareils orthodontiques conventionnels.

Cependant, il est important de souligner qu'il peut y avoir des différences de durée de traitement en fonction de la complexité du cas et des besoins spécifiques du patient. Dans le cas des extractions dentaires, Li et al, ont constaté que le temps de traitement avec des aligneurs transparents était 44% plus long que celui avec des appareils orthodontiques fixes. Cela suggère que les cas d'extraction peuvent nécessiter un temps de traitement plus long avec les aligneurs.[233]

### **10. La stabilité et la récurrence :**

Comme dans tous les types de traitements orthodontiques, la stabilité est l'un des problèmes les plus importants à aborder lorsqu'il s'agit des aligneurs transparents.

Selon la revue systématique de Zheng et al, ils ont comparé les changements dentaires après la phase de rétention entre les patients traités avec des aligneurs et ceux traités avec des appareils fixes conventionnels. Ils ont constaté que le changement global d'alignement dans le groupe des aligneurs était beaucoup plus marqué que dans le groupe des appareils fixes.

L'étude menée par Graf et al, a révélé que les résultats du traitement orthodontique restaient stables lorsque le protocole de rétention était suivi. Selon cette étude, il est important de respecter les limites physiologiques des patients et de maintenir la forme originale de leur arcade dentaire pour assurer la stabilité du traitement. Plus précisément, l'étude a souligné que la sur-expansion de l'arcade dentaire, en particulier dans l'arcade inférieure et chez les patients adultes, pouvait compromettre la stabilité des résultats. Cela signifie qu'une expansion

excessive de l'arcade dentaire, au-delà des limites physiologiques du patient, peut entraîner des problèmes de stabilité à long terme.

Une étude de cohorte a utilisé le système de notation objective de l'American Board of Orthodontics (ABO). En analysant les modifications entre les groupes sur une période donnée, une différence importante a été constatée : les patients traités avec Invisalign ont montré une plus grande détérioration de l'alignement par rapport aux patients traités avec des appareils fixes traditionnels. Afin de mieux comprendre cette constatation, la catégorie d'alignement de l'OGS a été subdivisée en sous-catégories : maxillaire antérieur, maxillaire postérieur, mandibulaire antérieur et mandibulaire postérieur. Ces sous-catégories ont été identifiées par l'ABO. Il y a eu une détérioration de l'alignement antérieur maxillaire et mandibulaire dans le groupe Invisalign, tandis que seul l'alignement antérieur mandibulaire était détérioré dans le groupe des appareils conventionnels.

Effectivement, le type et le degré du mouvement dentaire, la durée du traitement actif et le protocole de rétention jouent un rôle essentiel dans la stabilité des résultats orthodontiques et la possibilité de récurrence post-traitement. En ce qui concerne le traitement par aligneurs, la durée de chaque étape du traitement et l'intervalle entre les aligneurs peuvent influencer les résultats, et on peut présumer que l'intervalle de 2 semaines entre les aligneurs est trop court et mène à une mauvaise formation osseuse et à d'autres rechutes.[234], [235]

## ***CONCLUSION***

## **Conclusion**

De nos jours, nous constatons que le traitement orthodontique par aligneurs invisibles connaît une évolution et une progression significatives, ce qui laisse entrevoir son rôle prépondérant dans l'avenir de l'orthodontie. Ce traitement représente une solution efficace et novatrice pour les patients souhaitant corriger les problèmes d'alignement dentaire tout en privilégiant l'esthétique et le confort. Ainsi, les aligneurs offrent une alternative aux traitements classiques, avec des résultats comparables dans de nombreux cas.

Toutefois, il est important de noter que les aligneurs ne sont pas adaptés à tous les cas d'orthodontie, et la coopération active des patients est un facteur déterminant pour le succès du traitement. Par conséquent, dans les cas les plus complexes, il est probable que la technique traditionnelle avec des appareils multi-attaches conserve sa pertinence.

Il est donc évident que les aligneurs ne peuvent pas se substituer entièrement aux techniques conventionnelles, et le praticien doit prendre en compte ces limitations afin de choisir la meilleure approche pour chaque patient, en fonction de ses démarches diagnostiques et thérapeutiques

## *Références bibliographiques*

## Références bibliographiques

- [1] « Histoire de l'orthodontie - docteur Pierre Jacq à Fouesnant »..
- [2] « Skinazi - Retrouver ce titre sur Numilog.com.pdf ». Consulté le: 1 décembre 2022. [En ligne].
- [3] « » Qui a inventé l'orthodontie ? » <https://www.cabinet-rozencweig.fr/orthodontie/qui-a-invente-lorthodontie/> (consulté le 1 décembre 2022).
- [4] Y. Attia, « Orthopédie Dentofaciale », *Edgewise*. in *Stomatologie II*, no. 23490 D10. Paris, France, p. 16 p, janvier 1985.
- [5] U. F. O. Themes, « 13 The Edgewise Fixed Appliance », *Pocket Dentistry*, 1 janvier 2015. <https://pocketdentistry.com/13-the-edgewise-fixed-appliance/> (consulté le 10 décembre 2022).
- [6] « Evolution of treatment mechanics and contemporary appliance design in orthodontics: A 40-year perspective - ScienceDirect ». <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889540615002589> (consulté le 3 décembre 2022).
- [7] K. Agrawal *et al.*, « Evolution of Pre-Adjusted Edgewise Appliance in Orthodontics », *Journal of Dental Research*, vol. 1, p. 72- 78, juin 2018.
- [8] N. J. McGuinness, « Standard edgewise technique and its relevance in contemporary fixed appliance therapy part 1 », *Orthodontic Update*, juill. 2017, doi: 10.12968/ortu.2010.3.3.76.
- [9] P. Canal, L. Delsol, et D. Wiechmann, *Orthodontie linguale*. Elsevier Health Sciences, 2016.
- [10] K. C. Poon et A. A. Taverne, « Lingual orthodontics: A review of its history », *Australian Orthodontic Journal*, vol. 15, n° 2, p. 101- 104, doi: 10.3316/informit.976837648161205.
- [11] BSS-GoldenGrms, « Les origines des traitements orthodontiques par gouttières », *Bloomsquare*, 3 septembre 2019. <https://www.bloomsquare.com/nos-actualites/origines-traitements-orthodontiques-par-gouttieres/> (consulté le 4 décembre 2022).
- [12] « An Historical Overview of Clear Aligner Therapy The Evolution of Clear Aligners », *Oral Health Group*. <https://www.oralhealthgroup.com/features/an-historical-overview-of-clear-aligner-therapy-the-evolution-of-clear-aligners/> (consulté le 4 décembre 2022).
- [13] Kunal Ajay Patankar, « Clear aligner treatment », 12:13:11 UTC. Consulté le: 24 mars 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.slideshare.net/KunalAjayPatankar/clear-aligner-treatment>
- [14] « History | Dr. Madsen ». <https://www.madsen.de/en/aligner/history/> (consulté le 4 décembre 2022).
- [15] « Kesling - 2 History of TP Orthodontics.pdf ». Consulté le: 14 décembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.tportho.com/wp-content/uploads/2015/01/TPO-Inside-News\\_Issue-07W.pdf?fbclid=IwAR03WrfT2G6o36uE3v9eIZ7yLpuI-Y8f\\_yeJ\\_2k1fUxjtUZiVRNoJE-O8j4](https://www.tportho.com/wp-content/uploads/2015/01/TPO-Inside-News_Issue-07W.pdf?fbclid=IwAR03WrfT2G6o36uE3v9eIZ7yLpuI-Y8f_yeJ_2k1fUxjtUZiVRNoJE-O8j4)
- [16] Y. M. Bichu *et al.*, « Advances in orthodontic clear aligner materials », *Bioact Mater*, vol. 22, p. 384- 403, oct. 2022, doi: 10.1016/j.bioactmat.2022.10.006.
- [17] « Using Biocryl Invisible Retainers ». <https://www.jco-online.com/archive/1985/08/570/> (consulté le 27 avril 2023).

- [18] « 4CBS3CXGRd5wdcTx6ktXVXn.pdf ». Consulté le: 24 mars 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.scielo.br/j/dpjo/a/4CBS3CXGRd5wdcTx6ktXVXn/?format=pdf&lang=en>
- [19] « The Essix retainer covering all teeth in the maxilla and from canine to... | Download Scientific Diagram ». [https://www.researchgate.net/figure/The-Essix-retainer-covering-all-teeth-in-the-maxilla-and-from-canine-to-canine-in-the\\_fig1\\_51065744](https://www.researchgate.net/figure/The-Essix-retainer-covering-all-teeth-in-the-maxilla-and-from-canine-to-canine-in-the_fig1_51065744) (consulté le 14 décembre 2022).
- [20] U. F. O. Themes, « History, Present and Future of Aligners », *Pocket Dentistry*, 27 février 2022. <https://pocketdentistry.com/history-present-and-future-of-aligners/> (consulté le 11 décembre 2022).
- [21] Pillot D, Alouini O, Canal P, Chiche-Uzan L, Legall M, Philip-Alliez C, « EMC-Orthopédie dentofaciale », *Particularités de l'orthodontie de l'adulte*. France, p. 13, 2019.
- [22] « Orthodontie de l'Adulte-min.pdf ». Consulté le: 15 décembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: [https://ia904505.us.archive.org/5/items/prothese-dentaire\\_202106/Orthodontie%20de%20l%20Adulte-min.pdf](https://ia904505.us.archive.org/5/items/prothese-dentaire_202106/Orthodontie%20de%20l%20Adulte-min.pdf)
- [23] K. C. Subhiksha, D. Saravanan, et D. K. Sabapathy, « LIMITATIONS OF ADULT ORTHODONTICS- A REVIEW », *Clinical Medicine*, vol. 7, n° 4, 2020.
- [24] « Traitements orthodontiques en deux phases | Bücco ». [https://www.orthodontisteenligne.com/traitement-orthodontique-deux-phase/?fbclid=IwAR2pkuoVdgPq\\_jbs0O\\_FhSQ7c3XZ2M7ZTTgCrZjJR9nm-CTaVb1NhwSP3a8](https://www.orthodontisteenligne.com/traitement-orthodontique-deux-phase/?fbclid=IwAR2pkuoVdgPq_jbs0O_FhSQ7c3XZ2M7ZTTgCrZjJR9nm-CTaVb1NhwSP3a8) (consulté le 15 décembre 2022).
- [25] « JCO Interviews Dr. Rolf Behrents on Adult Craniofacial Growth - JCO Online - Journal of Clinical Orthodontics ». <https://www.jco-online.com/archive/1986/12/842-jco-interviews-dr-rolf-behrents-on-adult-craniofacial-growth/?fbclid=IwAR3r4VDJnrZ9JAFxUEIo3qXDMB9s-ZAoJKVtqP3tjBVzSZIqsFhT6rfX3t0> (consulté le 15 décembre 2022).
- [26] V. Cacciafesta, G. Luebberink, et D. Kanter, « Traitement orthodontique des adultes avec un parodonte réduit : principes biomécaniques et applications cliniques », *Orthod Fr*, vol. 82, n° 4, Art. n° 4, déc. 2011, doi: 10.1051/orthodfr/2011135.
- [27] M. P. Médicale, « Vieillissement de la cavité buccale et pathologies bucco-dentaires », *prevention-medicale.org*. <https://www.prevention-medicale.org/actualites-revues-de-presse-et-evenements/toutes-les-actualites/chirurgien-dentiste/vieillissement-pathologies-bucco-dentaires> (consulté le 14 décembre 2022).
- [28] E. Masson, « Vieillissement des structures dentaires et péri-dentaires », *EM-Consulte*. <https://www.em-consulte.com/article/935610/vieillissement-des-structures-dentaires-et-periden> (consulté le 14 décembre 2022).
- [29] H. Kruk, X. Bensaid, G. Chevalier, S. Cherkaoui, F. Fontanel, et M. Danan, « Parodontites sévères et orthodontie : jusqu'où aller ? », *International Orthodontics*, vol. 16, n° 3, p. 450- 462, sept. 2018, doi: 10.1016/j.ortho.2018.06.006.
- [30] « Parodontite - Troubles dentaires », *Édition professionnelle du Manuel MSD*. [https://www.merckmanuals.com/fr-ca/professional/troubles-dentaires/parodontopathies/parodontite?fbclid=IwAR2fbdeY1jgE-YgsQTJK\\_G4e1iQ4BLbXOCGSHklSFufWHPqSNlpLWN72PT4](https://www.merckmanuals.com/fr-ca/professional/troubles-dentaires/parodontopathies/parodontite?fbclid=IwAR2fbdeY1jgE-YgsQTJK_G4e1iQ4BLbXOCGSHklSFufWHPqSNlpLWN72PT4) (consulté le 15 décembre 2022).
- [31] M. Le Gall et J. Sastre, « The fundamentals of tooth movement », *International Orthodontics*, vol. 8, n° 1, p. 1- 13, mars 2010, doi: 10.1016/j.ortho.2009.12.001.
- [32] R. J. Smith et C. J. Burstone, « Mechanics of tooth movement », *American Journal of Orthodontics*, vol. 85, n° 4, p. 294- 307, avr. 1984, doi: 10.1016/0002-9416(84)90187-8.

- [33] « Figure 4-Translatory movement with force going exactly through the... », *ResearchGate*. [https://www.researchgate.net/figure/Translatory-movement-with-force-going-exactly-through-the-CRes-Note-that-the-CRot-is-in\\_fig2\\_263294522](https://www.researchgate.net/figure/Translatory-movement-with-force-going-exactly-through-the-CRes-Note-that-the-CRot-is-in_fig2_263294522) (consulté le 15 décembre 2022).
- [34] « Déplacements des dents – ClearCorrect Soutien ». [https://support.clearcorrect.com/hc/fr-fr/articles/4402323236247-D%C3%A9placements-des-dents?fbclid=IwAR2xIUm0JcMn\\_jyKsn5WB3HrGroWZZj5CPA54iaTyXw0Ete5DD1FEGvBQLc](https://support.clearcorrect.com/hc/fr-fr/articles/4402323236247-D%C3%A9placements-des-dents?fbclid=IwAR2xIUm0JcMn_jyKsn5WB3HrGroWZZj5CPA54iaTyXw0Ete5DD1FEGvBQLc) (consulté le 24 juin 2023).
- [35] D. Bagga, « Adult Orthodontics Versus Adolescent Orthodontics: An Overview », *J Oral Health Comm Dent*, vol. 4, p. 42- 47, mai 2010, doi: 10.5005/johcd-4-2-42.
- [36] D. J.-M. Retrouvey, D. K. Kousaie, D. J.-M. Retrouvey, et D. K. Kousaie, « Physique de base en Orthodontie ».
- [37] U. F. O. Themes, « 5: Orthodontie | Medicine Key ». <https://clemedicine.com/5-orthodontie/> (consulté le 15 décembre 2022).
- [38] « Centre of resistance and centre of rotation of a tooth: experimental determination, computer simulation and the effect of tissue nonlinearity: Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Vol 19, No 3 ». <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10255842.2015.1007961?journalCode=gcmb20> (consulté le 15 décembre 2022).
- [39] « Moment-to-force ratio - American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics ». [https://www.ajodo.org/article/S0889-5406\(08\)00636-7/fulltext](https://www.ajodo.org/article/S0889-5406(08)00636-7/fulltext) (consulté le 15 décembre 2022).
- [40] R. J. Isaacson, S. J. Lindauer, et L. K. Rubenstein, « Moments with the edgewise appliance: Incisor torque control », *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, vol. 103, n° 5, p. 428- 438, mai 1993, doi: 10.1016/S0889-5406(05)81793-7.
- [41] M. Le Gall et J. Sastre, « Le déplacement dentaire : bases fondamentales », *International Orthodontics*, vol. 8, n° 1, p. 1- 13, mars 2010, doi: 10.1016/j.ortho.2009.12.007.
- [42] « L'orthodontie rapide », *Dr Eric Ursat | Orthodontiste à Strasbourg (67000)*. <https://selarl-dr-eric-ursat.chirurgiens-dentistes.fr/traitements/orthodontie-rapide/> (consulté le 24 juin 2023).
- [43] M. M. A. Ong et H.-L. Wang, « Periodontic and orthodontic treatment in adults », *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, vol. 122, n° 4, p. 420- 428, oct. 2002, doi: 10.1067/mod.2002.126597.
- [44] « Morgon - 2011 - L'ancrage chez l'adulte.pdf ». Consulté le: 15 décembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: [https://orthodfr.edpsciences.org/articles/orthodfr/pdf/2011/01/or110001.pdf?fbclid=IwAR0PGJMrzEiEZ-DTGuX\\_x9p7qr0uUVW5twlFtsMffhOL\\_3rNS6WmPk7Lpx8](https://orthodfr.edpsciences.org/articles/orthodfr/pdf/2011/01/or110001.pdf?fbclid=IwAR0PGJMrzEiEZ-DTGuX_x9p7qr0uUVW5twlFtsMffhOL_3rNS6WmPk7Lpx8)
- [45] « Rev\_Odont\_Stomat\_2011\_40\_p204-221.pdf ». Consulté le: 15 décembre 2022. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.sop.asso.fr/admin/documents/ros/ROS0000299/Rev\\_Odont\\_Stomat\\_2011\\_40\\_p204-221.pdf?v1.1](https://www.sop.asso.fr/admin/documents/ros/ROS0000299/Rev_Odont_Stomat_2011_40_p204-221.pdf?v1.1)
- [46] A. Consolaro et F. L. Romano, « Reasons for mini-implants failure: choosing installation site should be valued! », *Dental Press J. Orthod.*, vol. 19, p. 18- 24, avr. 2014, doi: 10.1590/2176-9451.19.2.018-024.oim.
- [47] « plaques ancrage - Chirurgie Maxillo-Faciale et Stomatologie - docteur d'Hauthuille ». [http://visage.nantes-atlantique.fr/old/InfoMed/plaques\\_ancrage\\_-\\_Chirurgie\\_Maxillo-Faciale\\_et\\_Stomatologie\\_-](http://visage.nantes-atlantique.fr/old/InfoMed/plaques_ancrage_-_Chirurgie_Maxillo-Faciale_et_Stomatologie_-)

- \_docteur\_dHauthuille.html?fbclid=IwAR2LzN7rDTyE8caBgrglIumrZQUjb0eFvq295kRbSUzxFrBiITj8zflKTR0 (consulté le 15 décembre 2022).
- [48] L. Morgon, « L’ancrage chez l’adulte », *Orthod Fr*, vol. 82, n° 1, p. 95- 106, mars 2011, doi: 10.1051/orthodfr/20111100.
- [49] « Le pas à pas de la connexion implant-PAP - Prothèse amovible - Comptes-rendus des journées de formation - SOP ». <https://www.sop.asso.fr/les-journees/comptes-rendus/23-prothese-amovible/7?fbclid=IwAR24D00hmk9RERvQuJiwWR62JAXBXKIXi7u4K9cOVE0I20tWG6DHUVEZCjc> (consulté le 15 décembre 2022).
- [50] cdso, « Orthodontie chez l’adulte : osez les bagues ! », *Centre Dentaire Etienne Marcel Dentelia*, 30 avril 2019. <https://centredentaireetiennemarcel.com/orthodontie-chez-ladulte-osez-les-bagues/> (consulté le 15 décembre 2022).
- [51] « Traitements orthodontiques des adultes - Les infos à connaître ». <https://orthodontiste-puteaux.fr/traitements-adultes/orthodontie-age-adulte-info-a-retenir/?fbclid=IwAR1Tf7n-IBVgabyTQVBQIGLz0LYgzhkeEsSWKH4B0gj6PAJIBZoAyVj3C14> (consulté le 15 décembre 2022).
- [52] S. Viennot et C. Pernier, « La contention chez l’adulte », *Orthod Fr*, vol. 82, n° 1, p. 145- 154, mars 2011, doi: 10.1051/orthodfr/20111109.
- [53] Tecles-Frossard O., Salvadori A., Canal P, « EMC-Odontologie/Orthopédie dentofaciale », *Indications et traitements de l’orthodontie de l’adulte*. Elsevier Masson SAS, Paris, 2007.
- [54] « Gouttières dentaires : les différents types, fonctions et prix ». <https://smile2impress.com/fr/blog/gouttieres-dentaires> (consulté le 2 février 2023).
- [55] « Gouttières dentaires - Centres Dentaires Clinadent », <https://clinadent.fr>. <https://clinadent.fr/clinique-dentaire/esthetique-dentaire/gouttiere-dentaire> (consulté le 2 février 2023).
- [56] G. Besnainou, « Les orthèses d’avancée mandibulaire (OAM) », *Médecine du Sommeil*, vol. 13, n° 3, p. 130- 134, sept. 2016, doi: 10.1016/j.msom.2016.07.001.
- [57] « L’orthèse d’avancée mandibulaire (OAM) », *Alliance Apnées du Sommeil*, 21 février 2017. <https://www.allianceapnees.org/les-traitements/lorthese-davancee-mandibulaire-oam/> (consulté le 2 février 2023).
- [58] J.-P. Ré, C. Chossegros, A. El Zoghby, J.-F. Carlier, et J.-D. Orthlieb, « Gouttières occlusales. Mise au point », *Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-faciale*, vol. 110, n° 3, p. 145- 149, juin 2009, doi: 10.1016/j.stomax.2009.03.008.
- [59] J.-F. Carlier, « Pourquoi prescrire une gouttière occlusale. », 2010.
- [60] M. Kelleher, « Chapitre 3 - Blanchiment dentaire: méthodes », in *Dentisterie Esthétique : Traitements Mini-Invasifs*, A. Banerjee, Éd., Paris: Elsevier Masson, 2017, p. 51- 98. doi: 10.1016/B978-2-294-75229-2.00003-1.
- [61] « Fluoration dentaire et gouttière de fluoruration : quand l’utiliser ? » <https://www.drkamioner.fr/lexique-dentaire/fluoration-dentaire> (consulté le 2 février 2023).
- [62] S. Dahan, M. Le Gall, D. Julié, et A. Salvadori, « Nouveaux protocoles d’élaboration des gouttières chirurgicales dans les traitements orthodontico-chirurgicaux », *International Orthodontics*, vol. 9, n° 1, p. 42- 62, mars 2011, doi: 10.1016/j.ortho.2010.12.010.
- [63] « La contention. Après le traitement orthodontique actif - SFODF ». [http://www.sfodf.org/avada\\_portfolio/la-contention-apres-le-traitement-orthodontique-actif/](http://www.sfodf.org/avada_portfolio/la-contention-apres-le-traitement-orthodontique-actif/) (consulté le 2 février 2023).

- [64] « Les Gouttières de Contention | Aligneurs Français », 6 avril 2020. <https://aligneursfrancais.com/blog/gouttieres-de-contention/> (consulté le 28 avril 2023).
- [65] « Contention dentaire après l'orthodontie : gouttière ou fil de contention ? » <https://smile2impress.com/fr/blog/contention-apres-orthodontie> (consulté le 28 avril 2023).
- [66] D. Issembert, « Le guide complet sur la contention en orthodontie ! », *Orthodontiste Paris : cabinet d'orthodontie à Paris*, 7 juillet 2021. [https://www.orthodontiste-paris.fr/guide\\_complet\\_contention\\_orthodontie/](https://www.orthodontiste-paris.fr/guide_complet_contention_orthodontie/) (consulté le 28 avril 2023).
- [67] « Gouttière d'alignement dentaire : c'est quoi, risques, prix », 17 mai 2022. <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-sante-du-quotidien/2811331-gouttiere-alignement-dentaire/> (consulté le 19 mai 2023).
- [68] S. L. Hechler, « Cone-Beam CT: Applications in Orthodontics », *Dental Clinics of North America*, vol. 52, n° 4, p. 809- 823, oct. 2008, doi: 10.1016/j.cden.2008.05.001.
- [69] « A Zenith Guide to Invisalign – Zenith Cosmetic Dentistry ». [https://zenithcosmeticdental.co.uk/journal/treatments/a-zenith-guide-to-invisalign-the-revolutionary-clear-aligner-for-perfectly-straight-teeth?fbclid=IwAR20P5fHAgYhHn58xuIN\\_SZ8cKzlzz-s4umONU0h3ESNhLmPwJzYPzghuNg](https://zenithcosmeticdental.co.uk/journal/treatments/a-zenith-guide-to-invisalign-the-revolutionary-clear-aligner-for-perfectly-straight-teeth?fbclid=IwAR20P5fHAgYhHn58xuIN_SZ8cKzlzz-s4umONU0h3ESNhLmPwJzYPzghuNg) (consulté le 29 mai 2023).
- [70] « Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte. Tome 1 - 9782294718175 », *Elsevier Masson SAS*. <https://www.elsevier-masson.fr/orthodontie-de-lenfant-et-du-jeune-adulte-tome-1-9782294718175.html> (consulté le 2 février 2023).
- [71] « Recent Advances in Dentistry Volume: 1 eBook by Tarek El-Bialy », *Rakuten Kobo*. <https://www.kobo.com/fr/fr/ebook/recent-advances-in-dentistry-volume-1> (consulté le 2 février 2023).
- [72] J. Cohen-lévy et R. Garcia, « Orthopédie dento-faciale et architecture du sourire », *Actual. Odonto-Stomatol.*, n° 242, Art. n° 242, juin 2008, doi: 10.1051/aos:2008013.
- [73] « Guide Clinique D Odontologie 3ed PDF | PDF | Dentiste | Infection », *Scribd*. <https://fr.scribd.com/document/484636254/Guide-Clinique-D-odontologie-3ed-pdf> (consulté le 2 février 2023).
- [74] M. Aritsiecclaeuoproigiinntal, « LES OCCLUSIONS PATHOLOGIQUES »., 2016.
- [75] *3D Diagnosis and Treatment Planning in Orthodontics*. Consulté le: 2 février 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-57223-5>
- [76] « Clinical Dental Photography in Orthodontic Practice - Philip Wander, 2016 ». <https://journals.sagepub.com/doi/10.1308/205016816820209488> (consulté le 2 février 2023).
- [77] Gandedkar, « Surgery-first orthognathic approach case series: Salient features and guidelines », janv. 2016, Consulté le: 2 février 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.jorthodsci.org/article.asp?issn=2278-0203;year=2016;volume=5;issue=1;spage=35;epage=42;aulast=Gandedkar>
- [78] S. P. Moya et J. L. Zafra, *Aligner Techniques in Orthodontics*. Wiley, 2021.
- [79] « (PDF) Mis casos clínicos en Odontología ». [https://www.researchgate.net/publication/316754612\\_Mis\\_casos\\_clinicos\\_en\\_Odontologia](https://www.researchgate.net/publication/316754612_Mis_casos_clinicos_en_Odontologia) (consulté le 2 février 2023).
- [80] M. Çifter, « A Qualitative Analysis of Dental Photography in Orthodontics: The Patient's Perspective », *BioMed Research International*, vol. 2018, p. e5418592, juill. 2018, doi: 10.1155/2018/5418592.
- [81] N. Schenz, V. Schwarz, R. Hörmann, et A. G. Crismani, « Impression material accuracy for palatal orthodontic miniscrews », *J Orofac Orthop*, vol. 81, n° 6, p. 427- 439, nov. 2020, doi: 10.1007/s00056-020-00245-3.
- [82] « Laboratoires Pred ». <https://www.pred.fr/static/wash> (consulté le 28 avril 2023).

- [83] « AMUpod - Empreinte Wash Technique (Automélangeur) ». <https://amupod.univ-amu.fr/video/24377-empreinte-wash-technique-automelangeur/?fbclid=IwAR3AOhlAnOTQ4tjczh33Nde6HSy7R5wQcytWoBdTQe246zTidp0emuuazwo> (consulté le 29 mai 2023).
- [84] G. Lecocq, « La prise d'empreintes numériques : principes et intérêts en orthodontie », *International Orthodontics*, vol. 14, n° 2, p. 184- 194, juin 2016, doi: 10.1016/j.ortho.2016.03.004.
- [85] « John Libbey Eurotext - L'Orthodontie Française - La précision des empreintes numériques intra-orales en orthodontie est-elle suffisante ? » [https://www.jle.com/fr/revues/odf/e-docs/la\\_precision\\_des empreintes\\_numeriques\\_intra\\_orales\\_en\\_orthodontie\\_est\\_elle\\_suffisante\\_\\_318030/article.phtml](https://www.jle.com/fr/revues/odf/e-docs/la_precision_des empreintes_numeriques_intra_orales_en_orthodontie_est_elle_suffisante__318030/article.phtml) (consulté le 2 février 2023).
- [86] Editeur, « Qu'est-ce que l'empreinte optique ? - Ardentys - Clinique dentaire Alger Ardentys - Clinique dentaire Alger », *Ardentys - Clinique dentaire Alger*, 18 juin 2022. <https://ardentys.com/6412/> (consulté le 2 février 2023).
- [87] « Logiciel d'orthodontie Maestro 3D - Configuration A », *www.machines-3d.com*. <https://www.machines-3d.com/logiciel-dorthodontie-maestro-3d-configuration-xml-752-2773.html> (consulté le 29 mai 2023).
- [88] Y. M. Bichu *et al.*, « Advances in orthodontic clear aligner materials », *Bioact Mater*, vol. 22, p. 384- 403, oct. 2022, doi: 10.1016/j.bioactmat.2022.10.006.
- [89] « Orthodontie », *GI Dental*. <https://www.dental.graph-image.fr/applications/applications-numeriques-pour-cabinets-et-laboratoires-orthodontie/> (consulté le 29 mai 2023).
- [90] S. Perschbacher, « Interpretation of panoramic radiographs », *Australian Dental Journal*, vol. 57, n° s1, p. 40- 45, 2012, doi: 10.1111/j.1834-7819.2011.01655.x.
- [91] « Equivalencia diagnóstica entre las cefalometrias de Steiner y Ricketts en niños ». <https://www.actaodontologica.com/ediciones/2020/2/art-5/> (consulté le 2 février 2023).
- [92] A. Dinesh, S. Mutalik, J. Feldman, et A. Tadinada, « Value-addition of lateral cephalometric radiographs in orthodontic diagnosis and treatment planning », *The Angle Orthodontist*, vol. 90, n° 5, p. 665- 671, avr. 2020, doi: 10.2319/062319-425.1.
- [93] R. Pauwels, K. Araki, J. H. Siewerdsen, et S. S. Thongvigitmanee, « Technical aspects of dental CBCT: state of the art », *Dentomaxillofacial Radiology*, vol. 44, n° 1, p. 20140224, janv. 2015, doi: 10.1259/dmfr.20140224.
- [94] D. D. Bouhnik, « Invisalign, comment ça marche ? », *Docteur Bouhnik Orth*, 6 septembre 2020. <https://www.dr-bouhnik-orthodontie.com/post/invisalign-comment-ca-marche> (consulté le 2 février 2023).
- [95] « L'orthodontie transparente. Aligneurs Invisalign & Spark. », *Smile Corner*. <https://smilecorner.be/orthodontie-transparente/> (consulté le 29 mai 2023).
- [96] « Les étapes de votre traitement Clearcorrect - L'orthodontie à Lorient », *Orthodontie Pépinière*. <https://www.centredentairepepiniere.com/les-etapes-de-votre-traitement-par-gouttieres-invisibles> (consulté le 2 février 2023).
- [97] « Traitements Impress : déroulement et questions fréquemment posées ». <https://smile2impress.com/fr/blog/avantages-impress> (consulté le 2 février 2023).
- [98] « Qu'est-ce que le stripping dentaire en orthodontie ? » <https://smile2impress.com/fr/blog/stripping-dentaire> (consulté le 2 février 2023).
- [99] iSmile, « Invisalign - Réduction interproximale de l'émail », *iSmile*. <https://www.ismile-orthocare.be/fr/invisalign-reduction-interproximale-de-l-email?.AbsoluteUri> (consulté le 2 février 2023).

- [100] « Réduction interproximale (RIP) | Dentsply Sirona France ». <https://www.dentsplysirona.com/content/dentsply-sirona/fr-fr/decouvrez-nos-produits/orthodontie/reduction-interproximale-rip.html> (consulté le 2 février 2023).
- [101] « La contention en orthodontie suite à un traitement d'orthodontie invisible ». <https://www.bloomsquare.com/traitements/contention-orthodontique-post-traitement-invisalign/> (consulté le 2 février 2023).
- [102] « Clear Aligner Technique by Sandra Tai (z-lib.org).pdf », *Google Docs*. [https://drive.google.com/file/u/1/d/10IfbK\\_EqN4P2Xtfh8FoMZzdig2hfsPX1/view?usp=drive\\_open&usp=embed\\_facebook](https://drive.google.com/file/u/1/d/10IfbK_EqN4P2Xtfh8FoMZzdig2hfsPX1/view?usp=drive_open&usp=embed_facebook) (consulté le 2 février 2023).
- [103] « Production of Dental Aligners: Pros and Cons, Costs, Cases, and more | Top 3D Shop », *Digital Manufacturing Store Top 3D Shop*. <https://top3dshop.com/blog/production-of-dental-aligners> (consulté le 2 février 2023).
- [104] A. Rajasekaran et P. K. Chaudhari, « Integrated manufacturing of direct 3D-printed clear aligners », *Frontiers in Dental Medicine*, vol. 3, 2023, Consulté le: 2 février 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fdmed.2022.1089627>
- [105] « Guide d'application: fabrication d'aligneurs et de dispositifs de retenue transparents thermoformés sur des modèles imprimés en 3D », *Formlabs*. <https://dental.formlabs.com/fr/indications/thermoformed-clear-aligners-retainers/guide/> (consulté le 2 février 2023).
- [106] P. Heapy, « How Are Clear Aligners Made? », *Strayt*, 15 février 2022. <https://www.straytteeth.com/how-are-clear-aligners-made/> (consulté le 2 février 2023).
- [107] « Machine de thermoformage Biostar - SCHEU-DENTAL », *Dentaltix - Boutique Dentaire Online*. <https://www.dentaltix.com/fr/scheu-dental/machine-de-thermoformage-biostar> (consulté le 2 février 2023).
- [108] « Plaques à thermoformer carrées Scheu Dental ». [https://www.capdentaire.com/article\\_plaques\\_a\\_thermoformer\\_carrees\\_scheu\\_dental\\_03-639\\_187896\\_84383.html](https://www.capdentaire.com/article_plaques_a_thermoformer_carrees_scheu_dental_03-639_187896_84383.html) (consulté le 29 mai 2023).
- [109] www.ploggmedia.com-Plogg média et D. S. C. Orthodontiste, « Utilisation des aligners Invisalign®/ Orthodontiste à Québec Chamberland », *Dr Sylvain Chamberland Orthodontiste*, 27 juin 2013. <https://www.sylvainchamberland.com/invisalign-appareils/port-et-utilisation-des-aligneurs-invisalign/> (consulté le 2 février 2023).
- [110] « Comment nettoyer Invisalign ? », *Dentaly.org*, 30 septembre 2021. <https://www.dentaly.org/lappareil-dentaire-invisible-prix-et-informations/nettoyer-invisalign/> (consulté le 2 février 2023).
- [111] « Recommandations-Invisalign.pdf ». Consulté le: 2 février 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ortholevis.com/wp-content/uploads/2021/04/Recommandations-Invisalign.pdf>
- [112] « Clinique Dentaire Dr.Mansouri - instructionsgouttièresinvisibles ». <https://www.cliniquedentairemansouri.com/instructionsgoutti%C3%A8resinvisibles> (consulté le 2 février 2023).
- [113] « Technique par aligneurs Invisalign - Orthodontiste Bordeaux », *Dr Marie Médico - Tivoli Mandron*. <https://www.orthodontie-bordeaux.com/nos-techniques/technique-par-aligneurs/> (consulté le 2 février 2023).
- [114] « La durée du traitement d'alignement dentaire ». <https://aligneursfrancais.com/alignement-dentaire/duree/> (consulté le 2 février 2023).
- [115] « La contention en orthodontie: qu'est que c'est? à quoi ça sert? » <https://www.orthodontie-paris15.fr/a-quoi-sert-la-contention-en-orthodontie/> (consulté le 2 février 2023).

- [116] « Ait SFODF 2021.pdf ». Consulté le: 29 mai 2023. [En ligne]. Disponible sur: [https://secure.key4events.com/key4register/images/client/1239/files/Ait%20SFODF%202021.pdf?fbclid=IwAR21EraikbXiEuSFb02gpn\\_9ac1tbykAI35ywenMxpmVJ3G3BT\\_skQt71TE](https://secure.key4events.com/key4register/images/client/1239/files/Ait%20SFODF%202021.pdf?fbclid=IwAR21EraikbXiEuSFb02gpn_9ac1tbykAI35ywenMxpmVJ3G3BT_skQt71TE)
- [117] « 3Dcelo . », *3Dcelo* . <https://formation.3dcelo.com/view/courses/les-traitements-par-aligneurs-la-duchesse/445211-partie-theorique/1275844-principes-biomecaniques-des-traitements-par-aligneurs> (consulté le 2 février 2023).
- [118] « Power Ridges ». <https://www.ortodonciamalaga.com/invisalign/glosario/power-ridges/> (consulté le 29 mai 2023).
- [119] J. Hennessy et E. A. Al-Awadhi, « Clear aligners generations and orthodontic tooth movement », *J Orthod*, vol. 43, n° 1, p. 68- 76, mars 2016, doi: 10.1179/1465313315Y.0000000004.
- [120] « Trois types d'attaches pour les aligneurs maison (FR/EN) | Innoralis ». [https://www.innoralis.fr/fr/publications/trois-types-dattaches-pour-les-aligneurs-maison-fren?fbclid=IwAR364geHOaeUjzORA-po8MPDXcqR7EBUq\\_\\_FSrq88fcrWB5Z6HtXWiOlj1M](https://www.innoralis.fr/fr/publications/trois-types-dattaches-pour-les-aligneurs-maison-fren?fbclid=IwAR364geHOaeUjzORA-po8MPDXcqR7EBUq__FSrq88fcrWB5Z6HtXWiOlj1M) (consulté le 8 juin 2023).
- [121] M. Jedliński, M. Mazur, M. Greco, J. Belfus, K. Grocholewicz, et J. Janiszewska-Olszowska, « Attachments for the Orthodontic Aligner Treatment-State of the Art-A Comprehensive Systematic Review », *Int J Environ Res Public Health*, vol. 20, n° 5, p. 4481, mars 2023, doi: 10.3390/ijerph20054481.
- [122] « Conventional Attachments », in *Aligner Techniques in Orthodontics*, John Wiley & Sons, Ltd, 2021, p. 39- 49. doi: 10.1002/9781119607267.ch10.
- [123] « How Invisalign works. | Attachments, Buttons & Elastic Bands , Power Ridges ». <https://www.animated-teeth.com/dental-braces/a-invisalign-attachments.htm> (consulté le 2 février 2023).
- [124] « Rampes d'occlusion – ClearCorrect Soutien ». <https://support.clearcorrect.com/hc/fr-fr/articles/5725163712663-Rampes-d-occlusion> (consulté le 2 février 2023).
- [125] « Genuine Invisalign® Pontic Kit », *eBay*. <https://www.ebay.com/itm/185321175605> (consulté le 30 mai 2023).
- [126] « Pince à gouttières invisibles Medicaline : perfectionner la biomécanique de vos traitements », *Dentaltix - Boutique Dentaire Online*. [https://www.dentaltix.com/fr/blog/pince-gouttieres-invisibles-medicaline-perfectionner-la-biomecanique-de-vos-traitements?fbclid=IwAR2Kt6DkbGMmsN2Z9smiyfJ4\\_p0Iu5ir8VpyFmmdX2nsK4-RJwSgOWS6sTw](https://www.dentaltix.com/fr/blog/pince-gouttieres-invisibles-medicaline-perfectionner-la-biomecanique-de-vos-traitements?fbclid=IwAR2Kt6DkbGMmsN2Z9smiyfJ4_p0Iu5ir8VpyFmmdX2nsK4-RJwSgOWS6sTw) (consulté le 29 mai 2023).
- [127] « Richard Bouchez | Clinical Success in Invisalign Orthodontic Treatment | Quintessenz Verlags-GmbH ». <https://www.quintessence-publishing.com/deu/en/product/clinical-success-in-invisalign-orthodontic-treatment> (consulté le 2 février 2023).
- [128] « Orthodontie transparente Oberhausbergen - Gouttières invisibles ». <https://dr-christophe-haus.chirurgiens-dentistes.fr/gouttieres-invisibles-oberhausbergen/> (consulté le 30 mai 2023).
- [129] « Ataches, ¿por qué tengo que llevarlos con mi tratamiento Invisalign? | Clínica Dental Campoy & Álvarez-Gómez | Murcia ». <http://campoyalvarezgomez.com/ataches-invisalign-powerarm/> (consulté le 2 février 2023).
- [130] « Andrea Conigliaro su LinkedIn: #drandrea\_conigliaro #conigliaroorthocare #invisalign... ». [https://it.linkedin.com/posts/andrea-conigliaro-68abb8102\\_drandreaconigliaro-conigliaroorthocare-activity-6922110783900258304-Pn3N](https://it.linkedin.com/posts/andrea-conigliaro-68abb8102_drandreaconigliaro-conigliaroorthocare-activity-6922110783900258304-Pn3N) (consulté le 30 mai 2023).

- [131] A. E. Moutawakil, « Biomechanics of Aligners: Literature Review », *ADOH*, vol. 13, n° 5, janv. 2021, doi: 10.19080/ADOH.2020.13.555872.
- [132] M. Upadhyay et S. A. Arqub, « Biomechanics of clear aligners: hidden truths & first principles », *Journal of the World Federation of Orthodontists*, vol. 11, n° 1, p. 12- 21, févr. 2022, doi: 10.1016/j.ejwf.2021.11.002.
- [133] « Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review | The Angle Orthodontist ». <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/85/5/881/59502/Efficacy-of-clear-aligners-in-controlling> (consulté le 2 février 2023).
- [134] « CA Clear-Aligner Clinical Protocol, and Why It is as It is | Dental Jay », 10 avril 2020. <https://dentaljay.com/ca-clear-aligner-clinical-protocol-and-why-it-is-as-it-is>, <http://www.dentalnews.com/2015/09/08/ca-clear-aligner-clinical-protocol/> (consulté le 30 mai 2023).
- [135] www.ploggmedia.com-Ploggmédia et D. S. C. Orthodontiste, « Mouvements dentaires orthodontiques avec des aligneurs Invisalign® | Orthodontiste à Québec », *Dr Sylvain Chamberland Orthodontiste*, 25 juin 2014. <https://www.sylvainchamberland.com/invisalign-appareils/mouvements-dentaires-orthodontiques-aligneurs-invisalign/> (consulté le 30 mai 2023).
- [136] W. Sabouni, A. Venugopal, S. M. Adel, et N. Vaid, « Correction of anterior open bite of varying severity using clear aligner therapy—A case series », *Clinical Case Reports*, vol. 10, n° 8, p. e6277, 2022, doi: 10.1002/ccr3.6277.
- [137] B. J. Glaser, *The Insider's Guide to Invisalign Treatment: A Step-By-step Guide to Assist You with Your Clincheck Treatment Plans*. 3L Publishing, 2018.
- [138] « livre : les aligneurs en orthodontie, schupp, quintessence, 9782366150377, www.livres-medicaux.com ». <https://www.livres-medicaux.com/orthodontie-odf/13489-les-aligneurs-en-orthodontie.html> (consulté le 2 février 2023).
- [139] « Utilisation des aligners Invisalign®/ Orthodontiste à Québec Chamberland ». [https://www.sylvainchamberland.com/invisalign-appareils/port-et-utilisation-des-aligneurs-invisalign/?fbclid=IwAR2Hs9KBsxcdbMSBe\\_BpqD\\_npQj5Feszmpz4IBvJL9z8QOSaf7WCVfhSk34](https://www.sylvainchamberland.com/invisalign-appareils/port-et-utilisation-des-aligneurs-invisalign/?fbclid=IwAR2Hs9KBsxcdbMSBe_BpqD_npQj5Feszmpz4IBvJL9z8QOSaf7WCVfhSk34) (consulté le 30 mai 2023).
- [140] U. F. O. Themes, « Aligner treatment in class II malocclusion patients », *Pocket Dentistry*, 16 janvier 2022. <https://pocketdentistry.com/aligner-treatment-in-class-ii-malocclusion-patients/> (consulté le 2 février 2023).
- [141] « Pourquoi porter un élastique dans un traitement Invisalign ? - ». <https://dentiste-lac-pro.com/soins-dentaires-lac-2/invisalign-prix-tunisie/invisalign-elastique/> (consulté le 30 mai 2023).
- [142] A. V. Hernandez, « Class III treatment with invisalign in non- growing patients without extractions », vol. 1, n° 1, 2017.
- [143] « Evaluation of open bite closure using clear aligners: a retrospective study - PMC ». <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7443419/> (consulté le 2 février 2023).
- [144] M. P. Guarneri, T. Oliverio, I. Silvestre, L. Lombardo, et G. Siciliani, « Open bite treatment using clear aligners », *The Angle Orthodontist*, vol. 83, n° 5, p. 913- 919, janv. 2013, doi: 10.2319/080212-627.1.
- [145] W. Schupp, J. Haubrich, et I. Neumann, « Treatment of Anterior Open Bite with the Invisalign System », n° 8, 2010.
- [146] D. Henick, W. Dayan, R. Dunford, S. Warunek, et T. Al-Jewair, « Effects of Invisalign (G5) with virtual bite ramps for skeletal deep overbite malocclusion correction in adults », *The Angle Orthodontist*, vol. 91, n° 2, p. 164- 170, janv. 2021, doi: 10.2319/072220-646.1.

- [147] U. F. O. Themes, « Surgery first with aligner therapy », *Pocket Dentistry*, 16 janvier 2022. <https://pocketdentistry.com/surgery-first-with-aligner-therapy/> (consulté le 2 février 2023).
- [148] admin-mrel, « Invisalign pour enfants et adolescents | Centre Médico-dentaire Denteclair », *Denteclair | Centres Dentaires*, 25 novembre 2019. <https://www.denteclair.fr/invisalign-pour-les-enfants-et-adolescents/> (consulté le 8 juin 2023).
- [149] S. Tai, « An Interdisciplinary Approach to Restorative Treatment with Clear Aligners », vol. 35, n° 4, 2020.
- [150] A. F. P. Services, « Quelles sont les contre indications pour un aligneur dentaire ? », *AFP Services*, 17 mars 2022. <https://www.afp-services.lu/quelles-sont-les-contre-indications-pour-un-aligneur-dentaire/> (consulté le 2 février 2023).
- [151] L. G. Vijayaalakshmi et A. Sumathifelicita, « CLEAR ALIGNERS IN ORTHODONTICS ».
- [152] « Aligneurs dentaires : passez par la case dentiste ! - Dentifree ». <https://dentifree.com/aligneurs-dentaires-passez-par-la-case-dentiste/> (consulté le 2 février 2023).
- [153] « Gouttière d'alignement dentaire : c'est quoi, risques, prix ». <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-sante-du-quotidien/2811331-gouttiere-alignement-dentaire/> (consulté le 2 février 2023).
- [154] « Les Traitements Orthodontiques Invisalign », *Quintessence France*. <https://www.quintessence-international.fr/product-page/les-traitements-orthodontiques-invisalign> (consulté le 2 février 2023).
- [155] B. A. Eichelberger, B. G. Koubi, M. A. Azria, M. G. Rachlin, U. O. AMU (Aix..., et W. Sabouni, « Avantages et limites de l'orthodontie par aligneurs - Présentation d'un système », *L'Information Dentaire*, 22 mars 2019. <https://www.information-dentaire.fr/formations/avantages-et-limites-de-l-orthodontie-par-aligneurs-presentation-d-un-systeme/> (consulté le 2 février 2023).
- [156] E. Yelouassi, « Quels sont les dangers à utiliser les aligneurs dentaires invisibles ? », *Information hospitalière : Lexique et actualité du milieu médical*, 3 mars 2022. <https://www.informationhospitaliere.com/quels-sont-les-dangers-a-utiliser-les-aligneurs-dentaires-invisibles> (consulté le 2 février 2023).
- [157] « Quels sont les avantages et inconvénients des gouttières dentaires Invisalign ? - Dr Kamioner ». <https://www.drkamioner.fr/invisalign/invisalign-avantages-inconvenients#toc-1> (consulté le 2 février 2023).
- [158] « Traitement d'aligneurs invisibles? Avantages et inconvénients ». <https://www.alignersclinics.fr/post/traitement-d-aligneurs-invisibles-avantages-et-inconv%C3%A9nients-1> (consulté le 2 février 2023).
- [159] « Avantages et inconvénients de la technique Invisalign - Docteur Yann Delage ». <http://www.dr-delage-yann.chirurgiens-dentistes.fr/articles/avantages+et+inconv%C3%A9nients+de+la+technique+invisalign-53> (consulté le 2 février 2023).
- [160] « POSSIBILITÉS ET LIMITES DU TRAITEMENT ORTHODONTIQUE PAR ALIGNEURS - PDF Téléchargement Gratuit ». <https://docplayer.fr/110530811-Possibilites-et-limites-du-traitement-orthodontique-par-aligneurs.html> (consulté le 2 février 2023).
- [161] « Trousse1-Invisalign-FR.pdf ». Consulté le: 2 février 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.prismadentistes.ca/wp-content/uploads/2021/11/Trousse1-Invisalign-FR.pdf>

- [162] « INVISALIGN, avantages et inconvénients - MEGA dentiste ». <https://www.mega-dentist.com/2021/12/invisalign.html> (consulté le 2 février 2023).
- [163] « limites of invslign.pdf », *Google Docs*. [https://drive.google.com/file/u/1/d/18n48gcjM5R66-hP5ULdl8jNgjW6eOZYG/view?usp=drivesdk&fbclid=IwAR2R18CfSibQh3ff1epaRXkYhz7tKtgTsOzMEpEIYF\\_fOkpcFff0K4rkc6k&usp=embed\\_facebook](https://drive.google.com/file/u/1/d/18n48gcjM5R66-hP5ULdl8jNgjW6eOZYG/view?usp=drivesdk&fbclid=IwAR2R18CfSibQh3ff1epaRXkYhz7tKtgTsOzMEpEIYF_fOkpcFff0K4rkc6k&usp=embed_facebook) (consulté le 2 février 2023).
- [164] « Traitement orthodontique par gouttières : Les origines ». <https://www.bloomsquare.com/nos-actualites/origines-traitements-orthodontiques-par-gouttieres/> (consulté le 13 décembre 2022).
- [165] « Align Technology le n°1 de la révolution orthodontique ». <https://www.les-investisseurs.com/action/align-technology/> (consulté le 3 mars 2023).
- [166] « #3 - Le système Invisalign® : possibilités de traitement en 2021 - AOnews le magazine dentaire qui nous rassemble ». <https://www.aonews-lemag.fr/ao-42-syst%C3%A8me-invisalign-d-couchat/> (consulté le 3 mars 2023).
- [167] iSmile, « Avantages / Désavantages Invisalign », *iSmile*. <https://www.ismile-orthocare.be/fr/avantages-invisalign?.AbsoluteUri> (consulté le 3 mars 2023).
- [168] « Frequently Asked Questions | Invisalign ». <https://www.invisalign.com/frequently-asked-questions> (consulté le 3 mars 2023).
- [169] « 1wCRTuu0F5\_1601305326.pdf ». Consulté le: 3 mars 2023. [En ligne]. Disponible sur: [https://dr-sebag-helena.chirurgiens-dentistes.fr/uploads/media/document/6/1601305326/1wCRTuu0F5\\_1601305326.pdf](https://dr-sebag-helena.chirurgiens-dentistes.fr/uploads/media/document/6/1601305326/1wCRTuu0F5_1601305326.pdf)
- [170] J. Faure, « Éditorial », *Rev Orthop Dento Faciale*, vol. 53, n° 4, Art. n° 4, nov. 2019, doi: 10.1051/odf/2019029.
- [171] « iTero® Element™ - Scanner 3D intra-oral by Align Technology | MedicalExpo ». <https://www.medicalexpo.fr/prod/align-technology/product-71668-726337.html> (consulté le 3 mars 2023).
- [172] A. Werner, « Align Website Now Lists Intraoral Scanners for Invisalign Aligner Case Submission », *Orthodontic Products*, 21 novembre 2019. <https://orthodonticproductsonline.com/practice-products/imaging/intraoral-scanners/align-website-now-lists-intraoral-scanners-invisalign-aligner-case-submission/> (consulté le 24 juin 2023).
- [173] « Which scanners can you use with Invisalign? », *The C.L.E.A.R. Institute*. <https://learn.theclearinstitute.com/blogs/news/which-scanners-can-you-use-with-invisalign> (consulté le 24 juin 2023).
- [174] « 3Shape settles Align Technology dispute. | Zenty ». <https://zenty.io/pdf-viewer/spedo-155648338> (consulté le 24 juin 2023).
- [175] « Invisalign accessible aux scanners Trios », *DENTISFUTURIS*. <https://www.dentisfuturis.com/invisalign-accessible-aux-scanners-trios/> (consulté le 24 juin 2023).
- [176] « Invisalign avant / après : 3 exemples de traitements orthodontiques, à Paris », *Orthodontiste à Paris : appareil lingual, Invisalign et bagues - Adultes et enfants*, 19 avril 2019. <https://www.orthodontie-paris15.fr/invisalign-apres-3-exemples-de-traitements-expliques/> (consulté le 3 mars 2023).
- [177] [www.unitheque.com](http://www.unitheque.com), « Les traitements orthodontiques invisalign », *Unithèque*. <https://www.unitheque.com/les-traitements-orthodontiques-invisalign/reussir/quintessence-international/Livre/30136> (consulté le 3 mars 2023).
- [178] « ClinCheck □ treatment plan and prescribed attachments are shown for the... | Download Scientific Diagram ». <https://www.researchgate.net/figure/ClinCheck->

- treatment-plan-and-prescribed-attachments-are-shown-for-the-initial-phase-of\_fig8\_342569768 (consulté le 3 mars 2023).
- [179] « Aligner Techniques in Orthodontics | Wiley Online Books ». <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119607267> (consulté le 3 mars 2023).
- [180] « Qué es el ClinCheck de Invisalign | Dra. Mafer Camargo ». <https://mafercamargo.com/invisalign/clincheck/> (consulté le 3 mars 2023).
- [181] « ClinCheck Pro 6.0 | Invisalign from Align Technology ». <https://www.digitalplatform.me/clincheck-pro-6.0> (consulté le 24 juin 2023).
- [182] « Taquets – Comment les poser – ClearCorrect Soutien ». <https://support.clearcorrect.com/hc/fr-fr/articles/4408186500887-Taquets-Comment-les-poser> (consulté le 3 mars 2023).
- [183] L. Joffe, « Invisalign®: early experiences », *Journal of Orthodontics*, vol. 30, n° 4, p. 348- 352, déc. 2003, doi: 10.1093/ortho/30.4.348.
- [184] G. Kaur, S. Soni, et M. Singh, « Invisalign: Meeting challenges with newer technologies », *International journal of health sciences*, p. 46- 52, déc. 2021, doi: 10.53730/ijhs.v5nS2.5362.
- [185] strive, « Invisalign aligners for children with baby teeth », *Peak Orthodontics*, 17 mai 2021. <https://peakorthodontics.co.nz/invisalign-aligners-for-children-with-baby-teeth/> (consulté le 31 mai 2023).
- [186] « Invisalign First/Teen, traitement invisalign pour Enfants/Adolescents à Paris », *Orthodontiste à Paris : appareil lingual, Invisalign et bagues - Adultes et enfants*, 22 avril 2021. <https://www.orthodontie-paris15.fr/invisalign-first-invisalign-teen-orthodontie-invisible-enfants-adolescents/> (consulté le 3 mars 2023).
- [187] « Invisalign® First | Aligners for Children | Harris Orthodontics Narellan ». <https://www.harrisortho.com.au/invisalign/invisalign-first> (consulté le 3 mars 2023).
- [188] « What is Invisalign First? | Invisalign in Wheaton IL | Weber Orthodontics », 12 octobre 2018. <https://weberortho.com/invisalign-first/> (consulté le 3 mars 2023).
- [189] « Clearsmile Orthodontist », *Clearsmile Orthodontics*, 25 avril 2019. <https://clearsmilecharlotte.com/blog/how-does-invisalign-for-teens-differ-from-invisalign-for-adults/> (consulté le 4 mars 2023).
- [190] PDOVA, « 3 Myths and Facts About Invisalign® Teen - PDOVA », *Pediatric Dentistry and Orthodontics of Virginia*, 1 janvier 2018. <https://pdova.com/facts-invisalign-teen/> (consulté le 1 juin 2023).
- [191] « Invisalign Full : Invisalign comprehensive pour les cas complexes », *Dentaly.org*, 28 février 2023. <https://www.dentaly.org/lappareil-dentaire-invisible-prix-et-informations/invisalign-full/> (consulté le 3 mars 2023).
- [192] « Invisalign i7 (express): le traitement invisible pour les corrections mineures ». <https://www.dentaly.org/lappareil-dentaire-invisible-prix-et-informations/invisalign-i7/> (consulté le 3 mars 2023).
- [193] « Invisalign Lite : l'appareil invisible en version légère », *Dentaly.org*, 28 février 2023. <https://www.dentaly.org/lappareil-dentaire-invisible-prix-et-informations/invisalign-lite/> (consulté le 3 mars 2023).
- [194] « Invisalign Lite: Guide to Costs & Treatment | Natural Smiles ». <https://www.naturalsmiles.co.uk/blog/invisalign-lite/> (consulté le 3 mars 2023).
- [195] « Invisalign Go : tout savoir sur cette formule Invisalign », *Dentaly.org*, 7 février 2023. <https://www.dentaly.org/lappareil-dentaire-invisible-prix-et-informations/invisalign-go/> (consulté le 3 mars 2023).
- [196] admin, « Invisalign i7 | Smile 4 U Dental Practice Croydon », *Smile 4 U Dental Practice*. <https://www.smile4u.co.uk/invisalign-i7> (consulté le 3 mars 2023).

- [197] « Vivera (Invisalign) Retainers: Pros, Cons & Costs », 4 mars 2022. <https://www.newmouth.com/orthodontics/treatment/vivera-retainers/> (consulté le 3 mars 2023).
- [198] « Vivera Retainers | Benefits of Vivera Retainers & Cost ». <https://www.orthodonticexprts.com/vivera-retainers/> (consulté le 3 mars 2023).
- [199] « Appareils de rétention pour Invisalign | Vivera ». <https://www.invisalign.ca/fr/vivera-retainers> (consulté le 1 juin 2023).
- [200] « What Is Invisalign SmartTrack? - iDental ». <https://idental.com.sg/resources/what-is-invisalign-smarttrack/> (consulté le 3 mars 2023).
- [201] « Design of the Invisalign system performance - ScienceDirect ». <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1073874616300573> (consulté le 3 mars 2023).
- [202] « Rise & review of invisalign clear aligner system - IJODR ». <https://www.ijodr.com/html-article/16203> (consulté le 3 mars 2023).
- [203] « Mandibular Advancement | Invisalign Provider ». <https://www.invisalign.com/provider/treatment-solutions/mandibular-advancement> (consulté le 3 mars 2023).
- [204] « Invisalign With Mandibular Advancement | Innovative Orthodontic Centers ». <https://www.innovativeorthocenters.com/invisalign-treatment-with-mandibular-advancement/> (consulté le 3 mars 2023).
- [205] « Votre Teleconsultation d'Orthodontie sur Rodez et partout en France », *Centre d'Orthodontie, d'Implantologie et de Chirurgie Maxillo-Faciale, Drs PASCUAL-SUCRET FAU*. <https://www.orthodontie-rodez.fr/la-teleconsultation/> (consulté le 3 mars 2023).
- [206] « Use of videoconferencing for consultation in dental prosthetics and oral rehabilitation - Eino Ignatius, Sami Perälä, Kari Mäkelä, 2010 ». <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1258/jtt.2010.100303?journalCode=jtta> (consulté le 3 mars 2023).
- [207] <https://www.facebook.com/verywell>, « Invisalign vs. Braces: Which Is the Better Option? », *Verywell Health*. <https://www.verywellhealth.com/invisalign-vs-braces-5218916> (consulté le 28 avril 2023).
- [208] « les Aligneurs, avis d'expert #2 - AOnews le magazine dentaire qui nous rassemble ». <https://www.aonews-lemag.fr/ao-42-les-aligneurs-avis-d-expert-m-c-tricot-blestel/> (consulté le 30 mai 2023).
- [209] « Orthodontics (Metal Braces / Invisalign) », *Dental World Manila*, 22 juillet 2016. <http://dentalworld.com.ph/what-we-offer/orthodontics-metal-braces-invisalign> (consulté le 26 mai 2023).
- [210] A. E. Evans Chad, « Should you get Invisalign or braces? Which one is cheaper, most effective, and better for your teeth », *Insider*. <https://www.insider.com/guides/health/dental/invisalign-vs-braces> (consulté le 28 avril 2023).
- [211] « Invisalign vs. Braces: What's The Difference? », *Forbes Health*, 3 janvier 2023. <https://www.forbes.com/health/body/invisalign-vs-braces/> (consulté le 28 avril 2023).
- [212] « Braces vs Aligners – Which Will Suit You Better? Orthodontics Articles ». <https://centralcoastorthodontics.com.au/braces-vs-aligners-which-will-suit-you-better/> (consulté le 28 avril 2023).
- [213] R. Srivastava, B. Jyoti, S. Kushwaha, et A. Shastri, « Sequential Removal Orthodontics: An Alternative Approach », vol. 2, n° 1, 2017.

- [214] S. Alajmi, A. Shaban, et R. Al-Azemi, « Comparison of Short-Term Oral Impacts Experienced by Patients Treated with Invisalign or Conventional Fixed Orthodontic Appliances », *MPP*, vol. 29, n° 4, p. 382- 388, 2020, doi: 10.1159/000505459.
- [215] « Assessment of the periodontal health status in patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances and Invisalign system - PMC », <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5895427/> (consulté le 28 avril 2023).
- [216] « Periodontal health and relative quantity of subgingival Porphyromonas gingivalis during orthodontic treatment | The Angle Orthodontist », <https://meridian.allenpress.com/angle-orthodontist/article/81/4/609/59057/Periodontal-health-and-relative-quantity-of> (consulté le 28 avril 2023).
- [217] A.-M. Bollen, J. Cunha-Cruz, D. W. Bakko, G. J. Huang, et P. P. Hujoel, « The Effects of Orthodontic Therapy on Periodontal Health: A Systematic Review of Controlled Evidence », *The Journal of the American Dental Association*, vol. 139, n° 4, p. 413- 422, avr. 2008, doi: 10.14219/jada.archive.2008.0184.
- [218] Y. Li *et al.*, « Prevalence and severity of apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: a cone beam computed tomography study », *Prog Orthod*, vol. 21, p. 1, janv. 2020, doi: 10.1186/s40510-019-0301-1.
- [219] D. Labonte et W. Federle, « Scaling and biomechanics of surface attachment in climbing animals », *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 370, n° 1661, p. 20140027, févr. 2015, doi: 10.1098/rstb.2014.0027.
- [220] « [PDF] Biomechanical Aspects of Various Attachments for Implant Overdentures: A Review | Semantic Scholar ». <https://www.semanticscholar.org/paper/Biomechanical-Aspects-of-Various-Attachments-for-A-Mirchandani-Zhou/00823486e2cf9a75e1661fc45cbaadccbb073ebe> (consulté le 8 juin 2023).
- [221] M. Upadhyay et S. A. Arqub, « Biomechanics of clear aligners: hidden truths & first principles », *J World Fed Orthod*, vol. 11, n° 1, p. 12- 21, févr. 2022, doi: 10.1016/j.ejwf.2021.11.002.
- [222] A. Moutawakil, « Biomechanics of Aligners: Literature Review », *Advances in Dentistry & Oral Health*, vol. 13, janv. 2021, doi: 10.19080/ADOH.2020.13.555872.
- [223] M. Bergius, S. Kiliaridis, et U. Berggren, « Pain in orthodontics. A review and discussion of the literature », *J Orofac Orthop*, vol. 61, n° 2, p. 125- 137, 2000, doi: 10.1007/BF01300354.
- [224] « Peut-on avoir des douleurs avec Invisalign ou les gouttières dentaires ? - Dr Kamioner ». <https://www.drkamioner.fr/invisalign/douleurs-invisalign> (consulté le 26 mai 2023).
- [225] « Orthodontie,début du traitement:un temps d'adaptation nécessaire. » <https://www.aveniortho.fr/les-problemes/adaptation.html> (consulté le 26 mai 2023).
- [226] « Les aligneurs peuvent-il causer des douleurs ? | DR SMILE ». <https://drsmile.fr/aligneur-dentaire/douleurs/> (consulté le 26 mai 2023).
- [227] « Les bagues ou les aligneurs (Invisalign...) : quelle est la meilleure option? », *Docteur Bouhnik Orth*, 28 juillet 2019. <https://www.dr-bouhnik-orthodontie.com/post/les-bagues-ou-les-aligneurs-invisalign-quelle-est-la-meilleure-option> (consulté le 26 mai 2023).
- [228] « MULTIATTACHES », *Cabinet dentaire du Dr VINCENT-BARTOLI Stéphane*. <https://www.dr-vincent-stephane.fr/multiattaches> (consulté le 26 mai 2023).
- [229] « TRAITEMENT PAR ALIGNEURS - Clinic n° 03 du 01/03/2023 ». <https://www.editionsmdp.fr/revues/clinic/article/n-423/traitement-par-aligneurs-CL1440309901.html> (consulté le 1 avril 2023).

- [230] « Complex Cases (Contraindications) », *ClearCorrect Support*, 23 février 2022. <https://support.clearcorrect.com/hc/en-us/articles/216127717-Complex-Cases-Contraindications-> (consulté le 28 avril 2023).
- [231] « Indications for Clear Aligner - PhiAligner KnowledgeBase ». <https://phialigner.com/knowmore/indications-of-clear-aligner/> (consulté le 28 avril 2023).
- [232] « What is a Clear Aligner - Advantages and Disadvantages | Pros and Cons of Clear Aligners ». <https://www.orthofx.com/blog/what-is-a-clear-aligner-advantages-and-disadvantages/> (consulté le 28 avril 2023).
- [233] « A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies | BMC Oral Health | Full Text ». <https://bmcoralhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12903-018-0695-z> (consulté le 28 avril 2023).
- [234] D. Kuncio, A. Maganzini, C. Shelton, et K. Freeman, « Invisalign and Traditional Orthodontic Treatment Postretention Outcomes Compared Using the American Board of Orthodontics Objective Grading System », *The Angle Orthodontist*, vol. 77, n° 5, p. 864- 869, sept. 2007, doi: 10.2319/100106-398.1.
- [235] S. Sahim et F. El Quars, « Effectiveness and Stability of Treatment with Orthodontics Clear Aligners: What Evidence? », in *Dentistry*, F. Bourzgui, Éd., IntechOpen, 2022. doi: 10.5772/intechopen.99998.

