

UNIVERSITÉ DE NANTES
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2019

N° 3531

**LES GOUTTIÈRES ESTHÉTIQUES EN ORTHODONTIE :
ENTRE FICTION THÉRAPEUTIQUE ET RÉALITÉ CLINIQUE,
ÉTAT DES LIEUX.**

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par :

BUFFAT Maxence

Né le 06 avril 1993

Le 8 mars 2019 devant le jury ci dessous :

Président : Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ

Assesseur : Monsieur le Docteur Alexis GAUDIN

Assesseur : Monsieur le Docteur Davy AUBEUX

Directrice de thèse : Madame le Docteur Madline CUNY

LISTE DES ENSEIGNANTS

**Par délibération, en date du 6 septembre 1972, le Conseil de la
Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises
dans les dissertations qui lui seront présentée doivent être
considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'il n'entend leur
donner aucune approbation, ni improbation.**

REMERCIEMENTS

A mon président de thèse

Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ

Professeur des Universités
Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherches Dentaires
Docteur de l'Université de Nantes
Habilité à Diriger des Recherches
Département de Prothèses
Chef de Service d'Odontologie Restauratrice et Chirurgicale

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse.

A ma directrice de thèse
Madame le Docteur Madline CUNY

Maître de Conférences des Universités
Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherches Dentaires
Département d'Orthopédie Dento-Faciale

*Merci sincèrement d'avoir accepté de diriger ce travail, et de m'avoir accordé votre confiance.
Vous avez été à l'écoute et disponible, je vous en suis très reconnaissant.*

A Monsieur le Docteur Alexis GAUDIN

Docteur en Chirurgie Dentaire
Maître de Conférences des Universités
Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherches Dentaires
Docteur de l'Université de Nantes
Ancien Interne de Hôpitaux de Toulouse
Département Odontologie Conservatrice – Endodontie

*Merci de me faire l'honneur d'être dans ce jury,
Et merci pour tout ce que vous m'avez enseigné durant mes années à la faculté.*

A Monsieur le Docteur Davy AUBEUX

Assistant Hospitalier Universitaire des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherches Dentaires
Département d'Odontologie Conservatrice – Endodontie

*Merci pour tout ce que tu m'as appris durant mes trois années de clinique,
Et merci d'être présent dans mon jury de thèse.*

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	7
I. Historique.....	11
1. Le positionneur de Kesling (1945).....	11
2. La gouttière invisible de Nahoum (1964).....	11
3. Les dispositifs de Ponitz et Mac Namara.....	12
4. Sheridan et le système Essix (1990).....	12
5. Les débuts d’Invisalign.....	13
II. Principes et mise en œuvre du traitement	14
1. Les aligneurs disponibles sur le marché	14
2. Les pré requis avant l’envoi du cas	16
2.1. Examen clinique et radiographiques.....	16
2.2. Photographie	16
2.3. Empreintes et enregistrement de l’occlusion	16
2.4. La place du numérique.....	17
3. Mise en œuvre du plan de traitement.....	19
3.1. Traitements proposés	19
3.2. Prescription faite par le praticien.....	22
3.3. Travail sur logiciel interactif.....	23
3.4. En complément du traitement	24
4. Remise des gouttières au patient, conseil et suivi.....	28
4.1. La fabrication des gouttières.....	28
4.2. Livraison et conseils	28
4.3. Suivi du patient	30
III. Indications thérapeutiques et limites	30
1. Avantages.....	31
2. Inconvénients.....	33
3. Comparaison du temps de traitement avec l’orthodontie fixe.....	33
4. Accélération du temps de traitement	34
5. Indications thérapeutiques et limites	40
5.1. Classe I DDM	41
5.1.1. DDM par défaut	41
5.1.2. DDM par excès	42
5.2. Anomalies du sens vertical : supraclusion et béance	43
5.3. Classe II	44
5.3.1. Approche non chirurgicale.....	44
5.3.2. Approche chirurgicale.....	46
5.4. Classe III	47
5.4.1. Approche non chirurgicale.....	47
5.4.2. Approche chirurgicale.....	50
IV. Quelle pratique : état des lieux en France à partir de questionnaires	52
1. Présentation du questionnaire	52
1.1. Destiné aux orthodontistes.....	52
1.2. Destiné aux omnipraticiens.....	52
2. Résultats.....	52

2.1. Des spécialistes	52
2.2. Des omnipraticiens.....	56
3. Analyse	58
CONCLUSION	57
BIBLIOGRAPHIE	58
ANNEXES	64

INTRODUCTION

La volonté de réaliser ce travail a été initiée par l'observation de l'essor d'une orthodontie par gouttière, dite esthétique, et de l'engouement qu'elle suscite tant chez les patients que chez les praticiens.

Elle apparaît aujourd'hui comme un phénomène de société, en moins de 20 ans plus de 5,8 millions de personnes à travers le monde ont bénéficié d'un traitement Invisalign.

Le principe est en effet attractif, porter une série d'aligneurs transparents, presque invisibles, que l'on peut retirer si besoin et obtenir des dents alignées. Nombreux sont les adultes qui avaient renoncé à cette idée pour les raisons évidentes et inhérentes du multi-attaches : visibilité des brackets, de l'arc, et le regard des autres. Les industriels l'ont bien compris et ont mis en exergue les avantages des gouttières à travers du marketing intensif, sur les réseaux sociaux notamment.

Le but a donc été de mettre à jour les connaissances dont nous disposions en 2018, afin de tenter de répondre à une problématique simple : quelles sont les indications et les limites des aligneurs et quelle pratique en est faite ?

I. HISTORIQUE

Apparus sur le marché en 1997 avec le système Invisalign®, les aligneurs esthétiques sont en fait une adaptation d'appareils décrits dès le milieu du 20ème siècle. En effet nous pouvons remonter jusqu'à Remensnyder qui introduit le Flex-O- Tite en 1923, un dispositif permettant de masser les gencives (« gum-massaging appliance ») pour le traitement de la parodontite. Il observa des déplacements dentaires mineurs secondaires au port de cet appareil, ce qui lui permit en 1949 de breveter une gouttière en caoutchouc sous le nom de « orthodontic appliance ».

1. Le positionneur de Kesling (1945)

C'est dans la littérature l'appareil que l'on décrit généralement comme le premier du genre, Kesling souhaitait dès 1945 trouver une alternative au traitement multi-attaches tout en permettant de déplacer les dents « sans contrainte ». Le principe était que des forces produiraient une forme d'arcade en concordance avec la typologie faciale et engendreraient l'alignement des dents entre elles. Pour ce faire, il eût l'idée de réaliser un set-up : les dents étaient sciées du modèle en plâtre et réarrangées dans de la cire selon la forme d'arcade désirée, le positionnement axial et l'occlusion. Le positionneur permettait des corrections dentaires mineures et était ensuite utilisé comme contention afin de conserver les résultats.

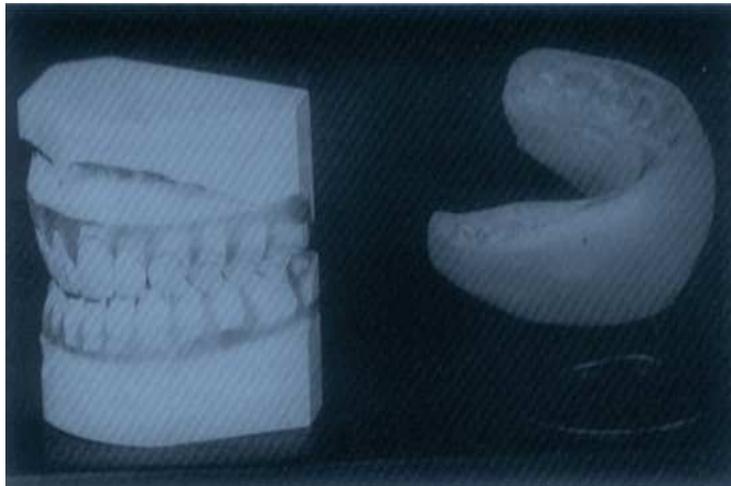


Figure 1 : Set-up et positionneur de Kesling de 1945

2. La gouttière invisible de Nahoum (1964)

Nahoum va travailler avec des gouttières thermoformées sous vide, fines (l'épaisseur variant entre .010 et .040 inches) et utilisables dans un certain nombre de disciplines telles que la parodontologie, la chirurgie mais aussi l'orthodontie. Pour lui, ses gouttières doivent se limiter à la fermeture d'espaces antérieurs et à l'alignement du bloc incisivo-canine dans le cas de rotations mineures. Cette fois aussi le recours à des set-up est indispensable jusqu'à obtenir le résultat escompté et la dernière gouttière servira de contention. Il est cependant intéressant de souligner que l'auteur emploie des auxiliaires comme les

forces extra-orales, les élastiques ou encore des attachements directement soudés sur l'appareil et qu'il le décrit comme supprimeur d'habitudes déformantes (suction du pouce, interposition linguale).

3. Les dispositifs de Ponitz et Mac Namara

En 1971 Ponitz reprend l'idée de Nahoum et utilise son « invisible retainer » ou « contention invisible » pour des mouvements dentaires limités.

Aux Etats-Unis en 1985, Mac Namara élargit les indications des gouttières esthétiques thermoformables qui sont de plus en plus utilisées dans les cabinets américains :

- Contention entre les différentes étapes de traitement
- Contention en fin de traitement
- Finitions telles que des déplacements de faible ampleur réalisés à partir de set-up (en prenant soin de ne déplacer qu'une dent par quadrant à l'exception des molaires pour lesquelles le dispositif n'est pas efficace).

En France, c'est le Dr Michel Amoric dans les années 80 qui développa le thermoformage avec des dispositifs aujourd'hui incontournables dans les traitements orthodontiques et orthopédiques tels que les monoblocs, propulseurs de Herbst, disjoncteurs, gouttières de finition.

4. Sheridan et le système Essix (1990)

Au milieu des années 90, Sheridan expérimente le système Essix® : des gouttières sont fabriquées à partir de modèles en plâtre modifiés avec des poinçons « divots » qui créent une force pour pousser une dent en particulier et des fenêtres « windows » qui créent des espaces pour que la dent s'y déplace. Ce type d'appareil peut être efficace pour corriger de légers encombrements mais doit se limiter à des déplacements de 3mm.

Lorsqu'il décrit le système Essix®, acronyme S-six pour les 6 S de « Sheridan Simple Sytem for Stabilising the Social Six », en 1993, Sheridan n'utilise encore ses gouttières qu'à des fins de contention ou au mieux les déplacements dentaires qu'il réalise avec ses gouttières sont « mineurs ». Selon lui, la plaque de Hawley, datant de 1920, était à l'origine utilisée pour le déplacement dentaire et non pour la contention. Les composants de la contention- un point de contact entre le bandeau vestibulaire et la face vestibulaire des dents d'une part et une masse de résine entourant approximativement la surface cervicale linguale d'autre part- sont selon lui, insuffisants. Il observe avec le système Essix® une stabilité des dents antérieures, une durabilité des gouttières malgré leur faible épaisseur et leur faible encombrement en bouche, un faible coût et une grande facilité de fabrication. Aujourd'hui, les deux applications des gouttières sont la contention et le déplacement dentaire.



Figure 2 : Modèle en plâtre sur système de thermoformage

5. Les débuts d’Invisalign

C'est en 1997 qu'un nouveau concept va émerger grâce à deux étudiants de MBA à l'université de Stanford, Kesley Wirth et Zia Chishti (17). L'histoire raconte que ce dernier, déçu par la lenteur de la correction de sa récurrence d'encombrement mandibulaire eu la brillante idée d'imaginer une série de gouttières permettant le déplacement des dents, et dont la planification serait simulée par un logiciel de conception assistée par ordinateur. Les dispositifs seraient ensuite fabriqués par un système de thermoformage individualisé, selon un procédé industriel permettant ainsi une production à grande échelle. Lors de chaque étape du déplacement dentaire, des modèles en résine sont créés par stéréolithographie, puis les aligneurs sont thermoformés à partir de plaques de polycarbonate.

Les deux étudiants à l'aide d'un ami informaticien fondèrent Align Technology dans un garage de Palo Alto en Californie. Le siège social est situé en Californie à Santa Clara, le centre de techniciens au Costa-Rica et le processus de fabrication à Juárez au Mexique.

Le système Invisalign reçut l'autorisation de la FDA (Food and Drugs Administration) après validation de son intérêt thérapeutique, et fut mis sur le marché aux USA en 1998. Il fallut attendre 2001 pour voir son arrivée en France et en Europe.

Grâce à la technologie CAD-CAM (conception et fabrication assistées par ordinateur) le système Invisalign permet ainsi de faciliter considérablement la réalisation pratique du traitement imaginé par Kesling. Désormais, une seule empreinte suffit à réaliser un set-up virtuel sur ordinateur, à partir duquel sera conçue une série d'aligneurs permettant des mouvements dentaires de l'ordre de 0,25 à 0,33mm (11).

II. PRINCIPES ET MISE EN ŒUVRE DU TRAITEMENT

1. Les aligneurs disponibles sur le marché

Au cours de ce travail nous parlerons essentiellement du système Invisalign, celui-ci étant le premier du genre, il est le plus utilisé à travers le monde et la quasi-totalité des articles scientifiques dans ce domaine lui sont consacrés.

1. invisalign	158
2. invisalign [tiab]	158
3. clear aligner	48
4. aligner* AND orthodont*	181
5. ortho caps	5
6. orthocaps	1
7. invisible AND orthodont*	69
8. removable AND aligner	33
9. esthetic AND splint AND orthodont*	75
10. transparent* AND orthodont*	63

Figure 3 : Nombre d'articles sur PubMed fin 2017

Cependant, environ une trentaine de systèmes concurrents et tout à fait performants sont également présents sur le marché, nous allons décrire succinctement quelques-uns des plus rencontrés en France.

L'équivalent européen est le système TwinAligner développé en 2006 par la société Orthocaps grâce au Dr Wajeeh Khan. Les similitudes avec le concept Invisalign se font sentir, l'obtention d'un set-up virtuel et la CAD-CAM, mais on peut cependant noter que les gouttières TwinAligner sont plus souples afin de délivrer des forces moins importantes et permettre des finitions de fin de traitement. Le principe est simple, une gouttière rigide est portée la journée (hardCaps), et une autre plus souple la nuit (softoCaps). Chaque série d'aligneur est prévue pour une durée de 3 semaines, contre 1 à 2 pour Invisalign (12).

Il existe un système français nommé E-aligner basé à Cholet (49) et fondé par le Dr Patrice Nicolleau. Il ne nécessite aucun coût de logiciel, et est compatible avec ou sans scanner. Si le praticien dispose d'un scanner il est possible de réaliser le traitement depuis un fichier 3D directement téléchargeable sur leur site internet.

Malgré la garantie d'une fabrication qualité française, je n'ai pas rencontré beaucoup de praticiens qui utilisaient ces gouttières et rien dans la littérature ne les mentionne, le recul clinique est donc très limité.

Nous pouvons également citer un autre système français disponible sur le marché, Smilers anciennement DentoSmile conçu par la société Biotech Dental, le principe de fonctionnement reste le même que ces concurrents.

Dentsply Sirona© avec le concept Ideal Smile® propose trois moyens pour créer des forces (fig 1) : soit sur le modèle en plâtre avec le système de fraises « Smile Burs TM » (a), soit sur les gouttières comme Sheridan avec des pinces déformant le plastique (b), soit sur les dents du patient avec du composite (c). Le fabricant sur son site internet précise que les gouttières permettent de corriger les défauts mineurs d'alignement, de canine à canine.

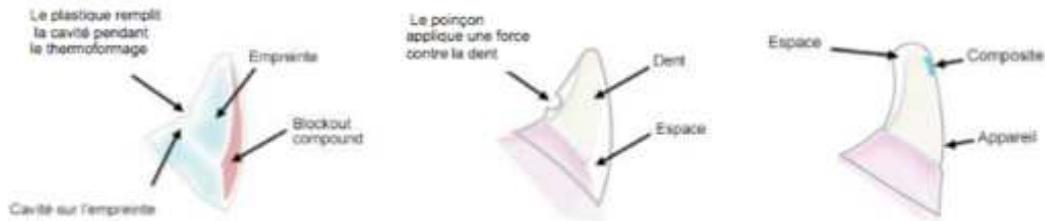


Figure 4 : Poinçons et fenêtre dans le concept Ideal Smile

La société italienne Nivol a mis au point en 2010 son système d'aligneurs qu'elle a appelé AirNivol, encore une fois peu de recul clinique sur son efficacité, il reste cependant assez utilisé par les orthodontistes.

Enfin nous pouvons parler de ClearCaps marque fondée à Berlin en 2016 par M.Jesse Bartels qui trouve son intérêt dans la fabrication rapide et à grande échelle d'aligneurs. Aujourd'hui, les imprimantes 3D de MSO (Structural Mask Stereolithography) font partie intégrante des installations de fabrication de pointe de l'entreprise berlinoise.

La technologie « MSLA » (processus de masque numérique) contrôle quelle zone de la plate-forme de construction est éclairée à un moment donné.

Lorsque la lumière passe par le masque, elle frappe la résine photodurcissable et la solidifie pour former une couche de l'objet imprimé. Ce processus se répète jusqu'à ce que l'objet entier soit imprimé avec succès.

Le MSLA permet d'atteindre des vitesses beaucoup plus rapides que les imprimantes SLA ou DLP classique. Cela se traduit par un débit plus élevé de fabrication sans compromettre la qualité d'impression. Environ 250 modèles sont imprimés en 24 heures.



Figure 5 : Système ClearCaps

2. Les pré requis avant l'envoi du cas

Nous allons évoquer les étapes entre le premier rendez-vous et la pose des gouttières.

2.1. Examen clinique et radiographiques

Tout d'abord il est impératif de réaliser un examen clinique complet, afin de s'assurer de la motivation, de l'état psychologique du patient et du fait qu'il ne présente pas de contre-indication. Les soins dentaires devront être réalisés en amont et le parodonte devra être assaini. Le praticien réalisera également un examen radiographique avec un panoramique et une téléradiographie de profil grâce à quoi un diagnostic squelettique, alvéolaire et dentaire pourra être établi.

2.2. Photographie

Il est important de photographier le patient afin de constituer le dossier orthodontique qui a une valeur médico-légale.

Concernant l'aspect exo-buccal, le praticien prendra un cliché :

- De face bouche fermée
- De profil
- De face avec sourire

En endo-buccal, il sera nécessaire d'obtenir des photos de :

- L'arcade maxillaire
- L'arcade mandibulaire
- L'occlusion à droite et à gauche
- L'occlusion de face

2.3. Empreintes et enregistrement de l'occlusion

Le praticien utilise les porte-empreintes en plastique fournis par Invisalign®, il en existe 4 tailles (small, medium, large et extra large).

Deux techniques sont recommandées en utilisant des silicones polyvinylsiloxanes (P.V.S.) :

- La prise d'empreintes en deux temps (« wash-technique ») : le porte empreinte est rempli de matériau lourd que l'on recouvre à l'aide d'un film plastique étirable. Après désinsertion en

bouche, on retire délicatement le film et on supprime les excès afin d'éviter une trop forte compression. On peut ensuite injecter le matériau léger et ré-insérer en bouche.

Il existe une variante : sur le maître modèle (obtenu à partir d'une empreinte à l'alginate), le praticien positionne le porte-empreinte chargé de silicone lourd : cette pré-empreinte retravaillée (par la réalisation d'évents permettant d'enlever les contre dépouilles) en l'absence du patient, va nous faire gagner une étape.

- La prise d'empreinte en un temps : pendant que le light est appliqué partout en bouche par le praticien à l'aide d'une seringue, le mélange de lourd est réalisé par l'assistante.

Selon Bouchez (13), il convient d'obturer les espaces inter dentaires avec de la cire lorsque des problèmes parodontaux persistent, mais également sous les intermédiaires de bridges afin d'éviter tout risque de déchirure du silicone lors du retrait.

Il est indispensable d'obtenir des empreintes de haute qualité car le moindre défaut pourrait engendrer un problème de positionnement des gouttières en bouche.

Critères de réussite de l'empreinte :

- Le matériau lourd ne doit pas apparaître à travers le matériau léger
- L'absence de bulle ou de manque
- Les contours gingivaux et l'anatomie de toutes les surfaces apparaissent clairement

2.4. La place du numérique

Il est également possible d'avoir recours aux empreintes optiques qui favorisent le confort du patient et du praticien ce qui permet de réduire une source potentielle de stress. Les patients bénéficient d'une meilleure expérience, ils peuvent visualiser les résultats par simulation et les scans peuvent être retouchés devant lui. Les finitions sont rapides, faciles et c'est un véritable outil pédagogique. L'intérêt réside aussi dans le fait de réduire le temps de réception du premier ClinCheck, ainsi le traitement est débuté plus rapidement.

L'enregistrement du rapport inter maxillaire se fait bouche fermée, les dents en position d'inter-cuspidie maximale, ce qui permet une nouvelle fois d'éviter l'utilisation de matériaux d'empreinte.

En revanche, c'est une technique encore assez novatrice dont peu de cabinets sont équipés, et qui nécessite une ouverture buccale suffisante pour que la caméra filme toutes les surfaces dentaires.

Align Technologie a conclu un accord en 2017 avec Sirona (logiciel Cerec ortho) et 3Shape (logiciel Trios) pour assurer la correspondance entre les empreintes et le ClinCheck. Cependant la société conseille d'utiliser le scanner iTero Element spécialement développé pour l'orthodontie.

En mars 2018 la société américaine a même annoncé la fin de l'interopérabilité et l'interruption de l'acceptation des scans numériques au moyen de scanners Trios.



Figure 6 : Caméra optique 3Shape



Figure 7 : Logiciel Cerec-Ortho SW



Figure 8 : Scanner et empreinte optique iTero

Selon le Dr Aymeric Philibert (14), l'avenir se situe dans la conception et la fabrication de ses gouttières directement au cabinet à la condition que le traitement dure moins de 18 mois.

Pour lui l'équation est simple, on peut les obtenir avec : une caméra optique, un logiciel comme le ortho analyzer, et une imprimante 3D. Il se justifie en mettant en avant le nombre trop important de séries d'aligneurs vendues au patient, qui sont pour lui avant tout dûs à la mauvaise prédictibilité des sets-up et par le coût de production dérisoire qu'elles ont nécessité pour leur réalisation.

Une imprimante simple avec une précision de l'ordre de 100 microns coûte environ 1500 euros, il en va de même pour la thermoformeuse. Selon lui un aligneur lui revient à 15 euros.

De plus la prise d'empreinte optique et le thermoformage sont des étapes clés qu'il est possible de déléguer à l'assistante.

En juin 2017 l'application Invisalign Photo Uploader voit le jour. Elle simplifie l'envoi de photos par un patient et permet au praticien de prendre rapidement les photos du patient et de vérifier en temps réel la faisabilité du cas tout en permettant le diagnostic ultérieur et l'archivage dans Invisalign Doctor Site (IDS). Compatible avec l'iPhone, l'iPad et l'iPod touch.

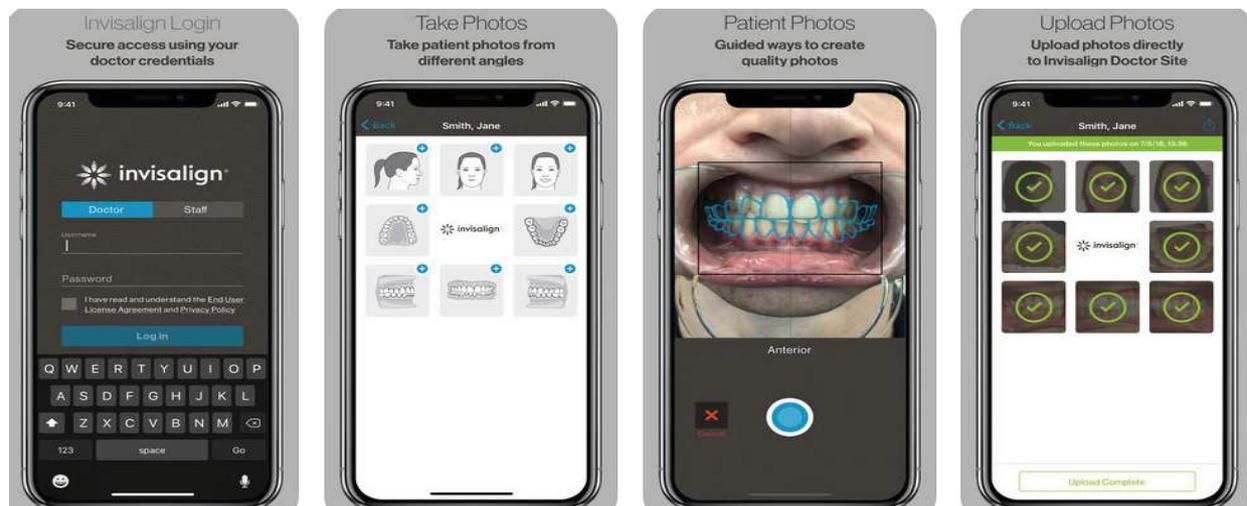


Figure 9 : Interface de l'application Invisalign Photo Uploader

3. Mise en œuvre du plan de traitement

3.1. Traitements proposés

Il y a 5 types de traitements proposés par Align Technology (15) :

- Invisalign Go :

Apparu en 2017, ce système remplace Invisalign Assist. Il est destiné aux omnipraticiens, pour des corrections simples.

Les indications sont :

- Chevauchement/béance ≤ 7 mm

- Expansion de la largeur/arcade 4 mm par arcade
- Surocclusion ≤ 5 mm
- Décalage de la ligne médiane de 1 mm

Il y a jusqu'à 20 jeux d'aligneurs et le prix varie entre 795€ pour une arcade à 1095€ pour les deux.

Un logiciel d'évaluation du traitement inclus dans Invisalign Go simplifie le choix des cas, permettant aux dentistes d'identifier les patients qu'ils seront aptes à traiter. Après avoir chargé les radiographies intra-orales du patient dans le système IDS, ils obtiennent une évaluation de la difficulté du cas, ils peuvent ainsi décider de traiter.

Si le cas est jugé trop complexe, une procédure d'assistance numérique permet ensuite aux dentistes de transférer les photos du patient à un spécialiste formé, garantissant ainsi que chaque patient bénéficie du traitement adéquat.

Lorsqu'un patient est jugé apte à recevoir le traitement avec Invisalign Go, le praticien remplit une ordonnance en décrivant les objectifs du traitement et l'envoie accompagnée des empreintes.

Un plan de traitement personnalisé est alors établi avec ClinCheck. Chaque patient pourra suivre le déroulement son traitement et le dentiste gardera la main sur son cas.

Une application gratuite pour smartphone et tablette a été mise au moins pour simplifier l'envoi du cas à Align Technology.

- Invisalign I7 :

Traitement esthétique ne prenant en charge que de canine à canine, il est réservé spécifiquement pour des problèmes d'encombrement mineur, ou de récurrence débutante suite à des traitements orthodontiques antérieurs.

Il est économique et limité à seulement 7 jeux de gouttières.

- Invisalign Lite :

Utilisé pour les cas d'orthodontie modérément complexes, comme par exemple pour la résolution d'encombrement mineur ou pour la fermeture d'un diastème.

Le traitement est limité à 14 jeux d'aligneurs maximum. C'est donc une solution moins onéreuse que le traitement complet.

- Invisalign Teen :

L'appareil Invisalign Teen fonctionne sur le même principe que la version classique. Le temps de traitement varie en fonction de la difficulté du cas.

Ces aligneurs doivent cependant être renouvelés tous les 15 jours et des visites chez le praticien sont prévues toutes les 6 à 10 semaines environ pour vérifier l'évolution du traitement.

En revanche, Invisalign Teen se distingue depuis 2015 grâce à trois fonctions conçues spécifiquement pour les adolescents :

1. Des indicateurs de couleur bleu ont été ajoutés sur les côtés des gouttières afin de pouvoir contrôler l'assiduité dans le port des aligneurs.
2. Les appareils pour adolescents permettent d'anticiper et de modifier les gouttières en cas de nouvelles dents définitives avec des languette d'éruption et compensateurs d'éruption.
3. Le remplacement gratuit de six gouttières en cas de perte ou de casse.

Qu'est ce qu'une languette d'éruption ? C'est une fonctionnalité destinée à empêcher la sur-éruption des dernières molaires. L'onglet d'éruption couvre la cuspide mésiale de la dernière molaire, le matériau de l'aligner empêche la face occlusale de la deuxième molaire de dépasser la hauteur de la première molaire.



Figure 10 : Languette d'éruption Invisalign Teen

Qu'est ce qu'un compensateur d'éruption ? Il permet à la gouttière s'adapter à l'éruption naturelle des canines et des deuxième prémolaires au cours du port des aligners, en permettant au praticien de prescrire l'espace nécessaire à l'éruption des dents.



Figure 11 : Compensateur d'éruption Invisalign Teen

De la même façon que pour les autres traitements d'orthodontie, Invisalign Teen est pris en charge par la sécurité sociale à hauteur de 70% du tarif de convention, jusqu'aux 16 ans du patient, et ce, sur une période maximale de six semestres. Le montant du remboursement atteint donc 193,50 € par semestre pour un coût total oscillant entre 3500 et 5000 euros.

- Invisalign Full :

C'est le traitement classique, complet, proposé à la majorité des patients et le plus renseigné dans la littérature.

La société se targue de pouvoir corriger les décalages sagittaux des dents postérieures, les béances, les supraclusions, les encombrements, les diastèmes ainsi que des malocclusions plus complexes telles que les décalages transversaux (inversés d'articulé et arcades en lyre). C'est ce que nous chercherons à vérifier à travers ce travail.

3.2. Prescription faire par le praticien

Le praticien va remplir une charte, après établissement d'un diagnostic squelettique, dento-alvéolaire, fonctionnel, et esthétique.

Le résultat final est analysé et planifié dès le début grâce à un logiciel appelé ClinCheck, que l'on pourrait comparer à wax-up virtuel. Avec l'avènement de la 3D et des systèmes numériques, il devient aisé d'établir un plan de traitement à partir du résultat final escompté.

Il conviendra d'être attentif à 3 éléments sur le logiciel :

- L'occlusion statique et dynamique
- L'os et le parodonte
- L'esthétique

Si les contacts inter-dentaires ne sont pas idéaux, les interférences provoqueront des sur-charges occlusales qui pourront engendrer des mouvements dentaires. Or l'orthodontie n'était pas capable à elle seule de créer des rapports « parfaits » en cas d'anatomie occlusale imparfaite puisqu'elle ne modifie pas la morphologie des dents. Cependant grâce au développement des articulateurs virtuels il est désormais plus aisé de faire correspondre au mieux l'engrènement des 2 arcades maxillaires.

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

- Contacts totaux des prémolaires et molaires
- Guidage antérieur
- Minimum de contacts canins, pas de contact incisif (objectivé par le papier Shimstock en intercuspidie maximale)
- Surplomb incisif ouvert

Le praticien doit également tenir compte de nombreux facteurs jouant un rôle sur l'os et le parodonte. Effet, la quantité d'os interproximal est proportionnelle à la résistance à la résorption, il convient donc d'utiliser des forces faibles ($<0,3 \text{ N/Cm}^2$), et de planifier l'angulation radiculaire en se fiant aux clichés radiographique. Les attaches Optimized facilitent le contrôle de ces angulations.

Enfin il ne faut pas perdre de vue que la finalité réside également dans l'esthétisme, les mouvements orthodontiques nécessaires peuvent être choisis dans toutes les dimensions de l'espace.

Le praticien pourra également notifier si besoin dans la fiche du plan de traitement les sur-corrrections, les réductions inter-proximales et l'utilisation d'auxiliaires.

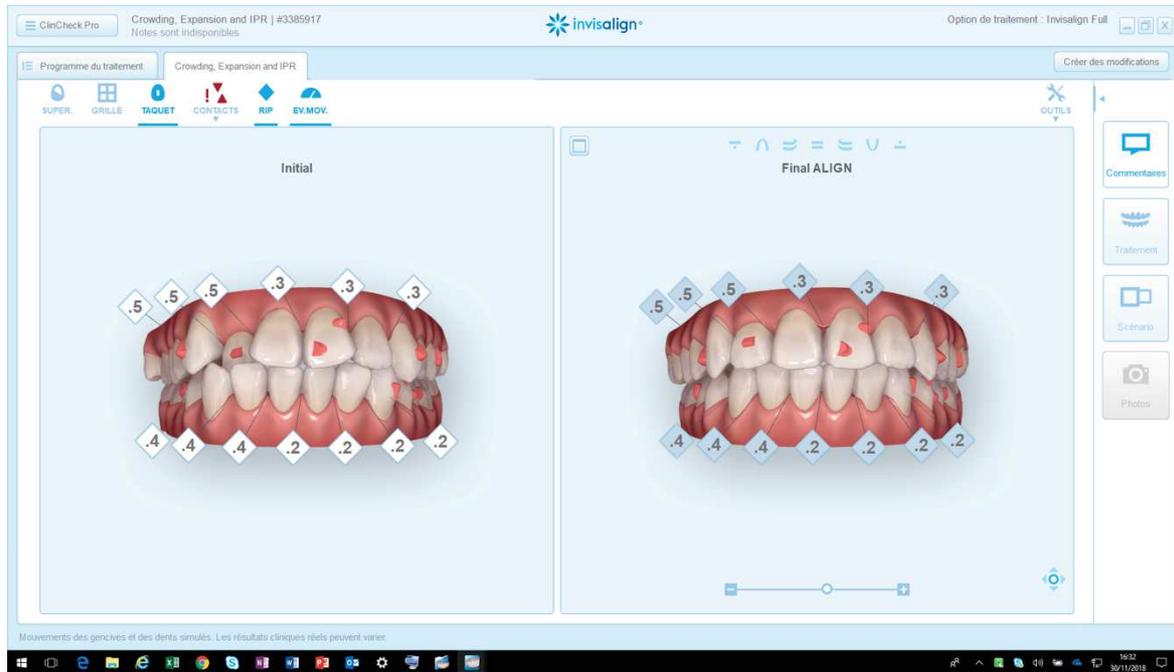


Figure 12 : Interface du ClinCheck

3.3. Travail sur logiciel interactif

Une fois le ClinckCheck réalisé par le « Virtual Technicien », le praticien avait la possibilité de le modifier à sa guise en remplissant des commentaires avant de le renvoyer à Align.

Depuis une mise à jour en 2015, il est désormais facile de réaliser des ajustements 3D directement sur le modèle virtuel du logiciel grâce à 4 outils (15)

- Modification de la position des dents :
 - Ingression, égression
 - Translation vestibulo-linguale
 - Translation mésio-distale
 - Rotation
 - Angulation de la couronne (mésio-distale)
 - Version de la couronne (vestibulo-linguale)
 - Torque radicaire

- Expansion ou contraction postérieure d'une ou des deux arcades
- Taquets et Precision cuts : Il est possible de déplacer, ajuster, pivoter les taquets conventionnels ainsi que de modifier la position mésiale ou distale des Precision Cuts pour le placement d'un bouton.
- Réduction inter-proximale et gestion de l'espace : Le praticien peut décider lui même de l'importance du stripping à réaliser, et à partir de quelle gouttière le faire.

Il est possible de superposer le modèle initial à la prévision finale pour mieux évaluer les mouvements.

Une fois les changements envoyés à Align, le plan de traitement sera mis à jour selon les instructions. Le prescripteur a toujours la possibilité d'apporter de nouveaux changements avant l'acceptation du ClinCheck et le lancement en fabrication des aligneurs. C'est bien à lui qu'appartient le dernier mot.

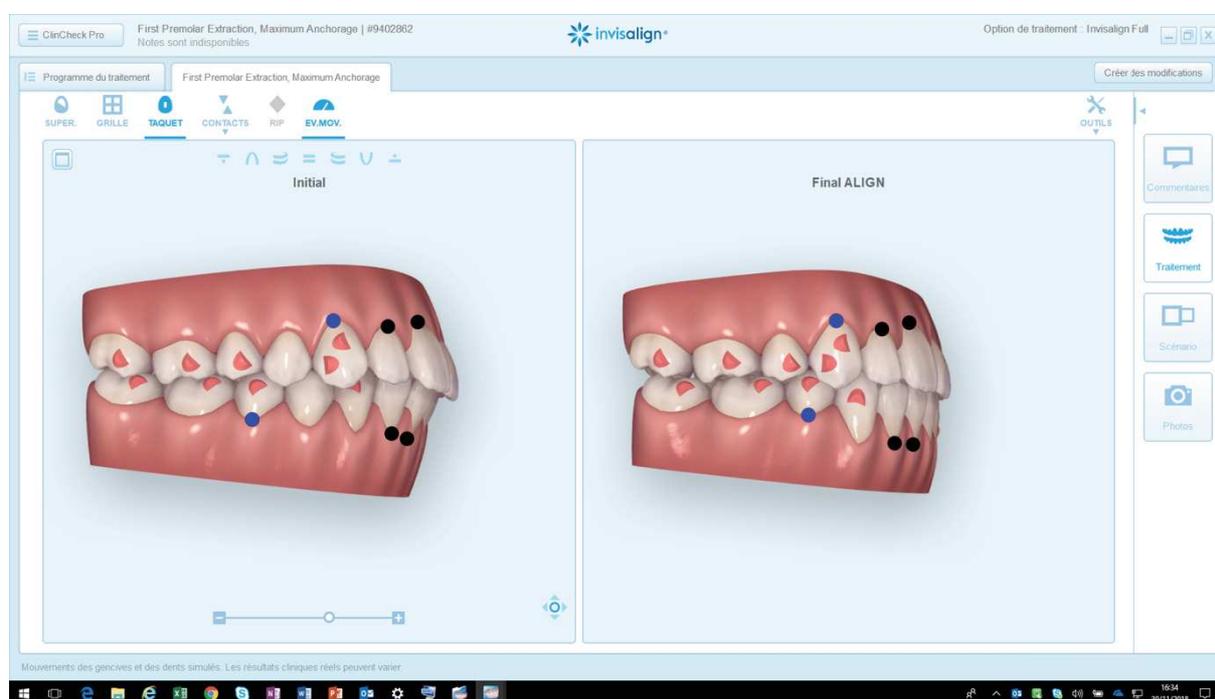


Figure 13 : Interface du ClinCheck

3.4. En complément du traitement

3.4.1. Les attachements

Le traitement par gouttières type Invisalign requière l'utilisation d'attachements pour transmettre les forces et permettre le déplacement dentaire. C'est une surface artificielle ajoutée à la dent de telle façon que l'aligneur puisse appliquer une force extrusive (16).

Le besoin est moindre pour les dents possédant de fortes contre-dépouilles ainsi que celles ayant de grandes couronnes cliniques, la réciproque étant vraie.

Historiquement il fallait placer des plots de résine composite fluide sur la surface des dents à l'aide d'un outil appelé « Template » afin de s'assurer de leur bon positionnement.

Les attaches ovales furent les premières, elles trouvaient un intérêt dans les égressions en antérieur pour les fermetures de béance et dans la rétention de la gouttière au niveau des premières prémolaires.

Sont venues ensuite les attaches rectangulaires. On en distingue 2 différentes :

- Les attaches rectangulaires verticales : indiquées pour les dérotations, on les collait au niveau des prémolaires et des canines.

Leur 2ème indication concernait les cas dans lesquels des extractions étaient prévues, on les collait de part et d'autre du site d'extraction.

Elles étaient également utilisées pour redresser l'axe d'une dent versée

- Les attaches rectangulaires horizontales : indiquées pour les ingressions et les égressions des incisives, ainsi que pour la rétention de la gouttière chez le patient hypo- divergent.

Depuis la société a cherché à créer des attachements spécifiques à chaque cas afin d'améliorer la prédictibilité et la précisions des déplacements. Plusieurs générations se sont succédées, Invisalign G3, G4, G5, G6 puis en 2017 Invisalign G7. Cette dernière par 3 innovations veut créer la force idéale pour permettre l'alignement optimal :

- « SmartForce feature » : contrôler le torque de la racine et de la couronne.



Figure 14 : Innovation SmartForce

- « SmartTrack material » : C'est un matériau très souple capable de générer des forces constantes et ainsi contribuer à diminuer les douleurs du patient.

Une étude réalisée en 2016 par Bräscher et al (17) sur 72 patients a conclu que ce nouveau matériel a montré des réductions significatives de l'intensité de la douleur, de la durée de la douleur et de la pression lors de l'insertion. Des paramètres cliniques importants tels que le confort général et la déficience ont également été améliorés. Son efficacité clinique reste cependant à être démontrée.



Figure 15 : Innovation SmartTrack

- « SmartStage technology » : un algorithme qui détermine le mouvement dentaire le plus physiologique et la forme de l'aligneur à chaque étape du traitement.



Figure 16 : SmartStage Technology

L'innovation G7 permettra un meilleur suivi des incisives maxillaire latérales quand des rotations avec extrusion ou intrusion seront prévues grâce à des attachements multi-plans.

Ces nouveaux attachements de précisions optimisés sont conçus pour offrir un contrôle amélioré sur les latérales quand les centrales font intrusion.

Il serait également possible d'avoir un meilleur contrôle de la racine en mésial et distal des prémolaires.



Figures 17,18,19 : Innovations G7

3.4.2. Les ancrages

Afin de permettre le meilleur résultat possible, lors de malocclusions importantes telles que des classes squelettiques de type II ou III, nous avons à notre disposition des auxiliaires comme des élastiques, des boutons, des poinçons (divots).

Avant 2010, les découpes étaient réalisées manuellement dans les gouttières (à l'aide d'une pince) ce qui réduisait inéluctablement la précision. Depuis Invisalign G3 et l'apparition des « Precision Cut », le logiciel est désormais capable de programmer un découpage précis pour coller un bouton ou accrocher des élastiques.

Sauf indication contraire du praticien, les Precision Cuts sont automatiquement définies sous forme de crochets sur les canines et de boutons sur les premières molaires.

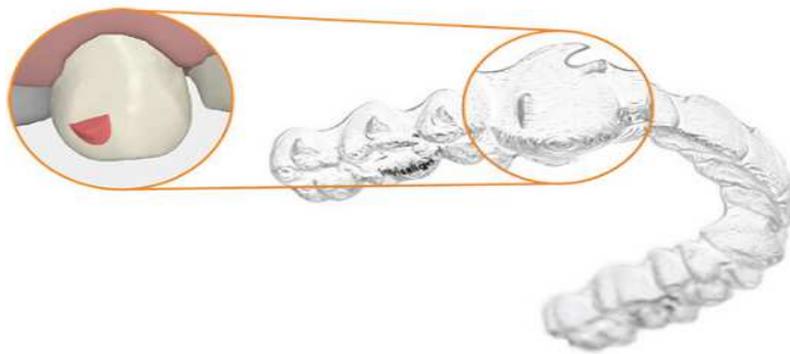


Figure 20 : Precision Cuts

Barone (18) en 2016 a travaillé sur la reconstruction numérique de modèles anatomiques composés de dents, de ligament parodontale et de tissu osseux (données obtenues à partir de CBCT). Les modèles anatomiques sont intégrés aux modèles d'aligneurs dont la forme s'adapte parfaitement à la dentition du patient. Des analyses numériques ont été effectuées pour évaluer le comportement de l'appareil dans le but de guider le positionnement optimal des auxiliaires.

Les analyses numériques démontrent que l'efficacité de l'attachement ne change pas substantiellement en changeant sa position sur la couronne, tandis qu'une légère variation se produit en changeant son orientation car une fixation horizontale amène des valeurs de torques supérieures à une fixation verticale.

3.4.3. Le stripping

En fonction du ClinCheck et après validation par le praticien, il est possible d'avoir à effectuer des réductions inter-proximales à certaines étapes du traitement. Elles peuvent être réalisées avec des strips abrasifs métalliques, des disques diamantés et des strippers montés sur contre-angle en fonction de l'importance de la surface amélaire à éliminer.

Une étude de Hellak (19) en 2016 démontre cependant qu'il faut se montrer prudent lors des stripping notamment car ceux-ci provoquent une perte osseuse verticale à la mandibule et au maxillaire et une perte osseuse verticale et sagittale à la mandibule ($P < 0,001$).

Lapenaite en 2014 (20) rappelle quant à lui les complications qui peuvent en découler :

- Hypersensibilité

- Inflammation de la pulpe
- Rétention de plaque et maladie parodontale
- Caries

4. Remise des gouttières au patient, conseil et suivi

4.1. La fabrication des gouttières

Après que le praticien a accepté le set-up informatique (ClinCheck), chaque étape du traitement est convertie en un modèle physique en résine par stéréolithographie : « stéréolithographie apparatus », SLA. Les aligneurs qui étaient au départ fabriqués par thermoformage en utilisant une « Biostar pressure molding machine » sont maintenant placés dans un automate « automated aligner-forming system ». Ils sont ensuite marqués au laser à travers le polycarbonate. L'ensemble est amené par un robot à une machine automatique « Automated Aligner cutter » qui va couper l'aligneur et le séparer du modèle en moins de 30 secondes. Puis il est poli, nettoyé, désinfecté et emballé sous blister pour l'expédition au cabinet du praticien. Il est important de préciser qu'il ne contient pas de bisphénol A, et est donc biocompatible.

4.2. Livraison et conseils

Il est d'abord expliqué au patient qu'un nettoyage rigoureux est indispensable à une bonne hygiène, afin d'empêcher la prolifération des germes et l'entartrage. Il y a plusieurs façons de procéder (15) :

- Dentifrice et brosse à dent : brossage à l'extérieur et à l'intérieur afin de garder les aligneurs propres et transparents
- Pastilles effervescentes : à diluer dans un verre d'eau en laissant tremper les gouttières (technique à utiliser 1 à 2 fois par semaine)
- Nettoyeur à ultra-sons : à utiliser tous les 15 jours avec une solution dentaire incolore et de l'eau

Il faut ensuite lui dire de porter ses gouttières 20 ou 22h sur 24, de ne les enlever que pour manger, boire et se brosser les dents. Des boîtes en plastique sont remises au patient pour qu'il y conserve ses aligneurs lorsque qu'il ne les porte pas.

Avant on revoyait en contrôle le patient 2 semaines plus tard, pour s'assurer de sa compliance, et de l'absence de douleur. La gouttière numéro 2 était alors essayée et la gouttière numéro 3 pouvait lui être remise afin qu'il commence à l'utiliser 15 jours plus tard.

Entre 2003 et 2016, grâce aux travaux de Bollen (21) le rythme d'activation était fixé à une gouttière tous les 15 jours ; mais depuis que Invisalign a mis au point son innovation G7, la société préconise un changement toutes les semaines (du moins pour les cas simples).

Une analyse menée par Invisalign (présentant donc forcément des biais) montre qu'il n'existe pas de différence significative en terme d'efficacité et de prédictibilité du mouvement entre un changement

hebdomadaire et un changement toutes les 2 semaines. L'intérêt serait que désormais il soit possible de diminuer la durée du traitement de 50%. Nous manquons actuellement de recul sur ces données, aucune preuve n'a été démontrée à l'heure actuelle.

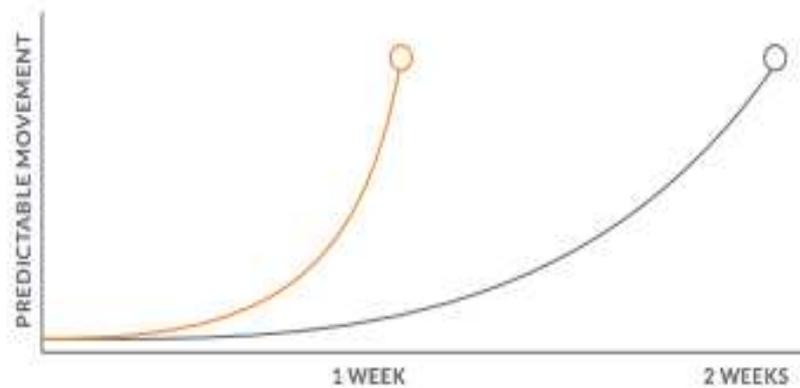


Figure 21 : Graphique comparant la prédictibilité du mouvement en fonction du temps

Que faire si le patient perd ses gouttières ? Dans ce cas la conduite à adopter dépendra du temps écoulé entre la perte et le moment où le patient reverra son praticien mais aussi du temps durant lequel la gouttière avait été portée jusqu'à la perte. Il y a deux possibilités :

- L'aligneur avait quasiment terminé les mouvements programmés, on peut alors passer au suivant, bien que l'ajustement sera plus serré et il devra être porté plus longtemps
- La deuxième est de demander le remplacement du dispositif perdu directement à Align Technology qui possède toutes les données pour le fabriquer en environ 15 jours.

Pendant cette période, le patient devra porter l'aligneur précédent en guise de contention. Il est donc impératif de les prévenir de garder toutes les gouttières usagées.

Que faire si une importante différence a lieu entre le ClinCheck et la situation clinique ? Il faut procéder à une « midcourse correction » c'est à dire une correction en cours de traitement. Le problème c'est qu'il faudra recommencer à remplir tous les documents du ClinCheck et les soumettre à Align. Un nouveau plan de traitement devra être établi, ainsi la durée et les objectifs de ce dernier peuvent être modifiés.

4.3. Suivi du patient

La plupart des fabricants recommandent un suivi toutes les 6 à 8 semaines afin de s'assurer du bon déroulement du traitement, rassurer si besoin le patient, opérer des corrections si besoin (stripping) et lui donner ses nouvelles gouttières.

Une fois le traitement terminé, le praticien s'appliquera à éliminer les plots de composite, rétenteur de plaque et inesthétiques.

L'un des inconvénients de ce type d'orthodontie est la fréquente récurrence, nous le reverrons plus tard. L'étape de contention est indispensable pour la pérennité et la stabilité du résultat final.

Invisalign recommande l'utilisation de ses contentions Vivera, un matériau supposé 30% plus solide que les contentions classiques car composé de polyuréthane. Elles sont plus épaisses et plus rigides que les aligneurs classiques et devront être portées la nuit pour une durée indéterminée mais généralement à vie. La firme envoie 3 jeux de contention à alterner tous les 15 jours pour les user de la même manière. On estime que cette contention remplira son rôle pendant environ 9 mois et qu'il faudra ensuite en recommander 3 nouveaux jeux.

Le patient est revu en moyenne tous les 6 mois.



Figure 22 : Invisalign Retainer Vivera

Que faire si le résultat n'est pas satisfaisant à la fin du traitement ? Il existe dans ce cas de figure une gouttière d'amélioration (case refinement). Il est possible que malgré la bonne observance du patient, une différence existe entre la prévision ClinCheck et la situation clinique finale. Il faut alors fournir de nouvelles empreintes accompagnées de photographies.

III. INDICATIONS THERAPEUTIQUES ET LIMITES

Dans cette partie, nous rentrerons dans le vif du sujet en abordant les avantages et les inconvénients, comparés à l'orthodontie fixe mais aussi les indications et les limites pour le traitement des malocclusions les plus fréquemment rencontrées.

1. Avantages

- Esthétique

Les gouttières transparentes sont relativement discrètes, c'est tout leur intérêt notamment chez l'adulte qui ne veut pas de brackets. (22)

Avec un bon entretien elles ne changent pas de couleur (23) bien qu'Invisalign soit les aligneurs qui se pigmentent le plus comparativement à ses concurrents.

Les patients rapportent cependant la visibilité des bulles de salive qui sont emprisonnées dans l'appareil.

- Planification virtuelle

Tous les acteurs d'un traitement par aligneur peuvent en discuter lors de la planification dans ClinCheck assurant une approche collégiale.

Cet avantage est particulièrement intéressant lorsque qu'une phase de restauration prothétique ou implantaire est prévue après l'orthodontie. Elle permet aussi au patient de se rendre compte de la situation finale envisageable. (15)

- Maintenance de la santé parodontale

Bien que les gouttières recouvrent entièrement les dents et une petite partie de gencive kératinisée, la santé parodontale est préservée car elles sont amovibles et permettent ainsi aux patients de maintenir une hygiène buccale comme l'ont démontré Miethke et Vogt en 2005 (24) puis Azaripour en 2015. (25)

- Faible risque carieux et de décalcification

L'apparition de décalcifications ou leucomes sous les brackets est un effet secondaire fréquent (bien qu'en diminution depuis l'utilisation de ciments verres ionomères). Pour Boersma et coll en 2005 (26), en moyenne 40% des surfaces dentaires chez les hommes et 22% chez les femmes présentent ce type de lésions après traitement multi-attaches.

C'est par leur caractère amovible et par le maintien d'un brossage de qualité, que les aligneurs ne présentent pas ces risques.

- Peu ou pas de complications associées
 - Peu ou pas d'urgence (décollement d'un bracket par exemple)
 - Peu ou pas de blessure muqueuse car les gouttières sont adaptées
 - Peu ou pas d'inflammation

- Pas d'abrasion
- Pas de réaction allergique car les aligneurs n'ont montré *in vitro* aucun signe de cytotoxicité ou d'oestrogénicité (27)

Gursoy et coll en 2007 (28) ont montré que lors d'un traitement fixe, des faibles doses de nickel pouvaient être relarguées dans l'épithélium et provoquer une hyperplasie gingivale.

- Contrôle des forces
- Forces douces et intermittentes (risque de résorption radiculaire réduit)
- Un séquençage d'aligneurs plus long permettant de réduire l'intensité des forces

L'utilisation de forces de faible intensité permettra un mouvement dentaire davantage contrôlé. Il est important également qu'elles soient intermittentes pour réduire au maximum le risque de résorption radiculaire.

Iglesias-Linares et coll ont démontré que le risque de résorption radiculaire externe était le même lors des traitements par aligneurs que lors d'un dispositif fixe et qu'il dépendait principalement de facteurs génétiques. (29), conclusion que confirment Giulia Gay et son équipe (30).

- Douleurs réduites
- Les douleurs au changement de ligatures sont plus importantes
- Plus de confort à la dépose des attaches

De part des douleurs moins importantes qu'avec de l'orthodontie classique fixe, et le maintien aisé d'activités quotidiennes il en résulte inexorablement une meilleure observance du patient.

C'est l'objet de l'étude qu'a mené le Dr Masi -Damois pour son mémoire d'orthodontie en 2015 (31). Les hypothèses étaient :

1. Le traitement Invisalign® entraînera moins de douleur que les boîtiers fixes.
2. Le traitement avec gouttières correctrices Invisalign® entraînera moins d'irritation au niveau des tissus mous.
3. La douleur devrait augmenter à chaque mise en bouche (MEB) et diminuer jusqu'à disparaître au troisième jour.
4. La qualité de vie sera plus affectée par un traitement fixe qu'avec Invisalign®.

70 patients furent inclus en 3 groupes, et elle détermina que pour le groupe Invisalign®, la douleur atteignait son niveau le plus élevé (sans pour autant nécessiter la prise d'antalgique) entre 5 et 24 heures après l'insertion du premier aligneur, et diminuait en intensité et en durée à chaque phase.

2. Inconvénients

- Amovible

Présenté comme un avantage, il peut aussi être considéré comme un inconvénient dans la mesure où la réussite du traitement dépend en grande partie de la coopération du patient.

Le caractère mobile de ces dispositifs entraîne inéluctablement un risque de perte voire de casse.

- Manque de contrôle par le praticien

En 2017 Fan Xu (32) met en évidence un groupe de 42 adolescents dans lequel 40% d'entre eux (soit 16) portaient leurs aligneurs moins de 18h par jour et 30% (soit 12) les avaient perdus. La conclusion de l'article est simple, les praticiens ne doivent mettre en place un traitement par gouttières que chez les patients motivés et compliant.

- Récidive

Inhérente à chaque traitement orthodontique sans contention.

- Coût

Il reste plus élevé qu'avec un traitement fixe. En moyenne pour le système Invisalign Full, un patient déboursa entre 3500 et 5500 euros.

Lorsqu'il ne nécessite que des corrections mineures, le prix sera aux alentours de 1500 à 2000 euros.

- Préjugés de certains praticiens et approche commerciale

Nombre de praticiens sont septiques sur les possibilités cliniques des aligneurs et ne les incluent pas assez dans leur arsenal thérapeutique. Cet argument est cependant de moins en moins valable avec l'essor que ce système connaît depuis quelques années et la demande de plus en plus forte des patients. L'approche commerciale d'Invisalign est discutable puisqu'elle s'adresse directement à eux, ce qui aux Etats-Unis est commun mais peut choquer davantage en France.

Quoi qu'il en soit, le marketing de l'entreprise est d'une efficacité hors norme puisque la marque s'est imposée dans le monde entier avec plus de 3 millions de personnes traitées en 10 ans.

3. Comparaison du temps de traitement avec l'orthodontie fixe

Selon l'étude de Pavoni, (33) un traitement d'orthodontie fixe a une durée de 18 mois \pm 3 mois et 18 mois \pm 2 mois pour un traitement d'orthodontie avec la technique Invisalign®.

En 2014 Peter Buschang (34) a cherché à comparer l'efficacité en terme de temps entre les aligneurs et la thérapie fixe.

La partie rétrospective de l'étude a évalué 150 patients porteurs de brackets, sur la base de l'encombrement mandibulaire et du nombre de dents ayant subi une rotation, à 150 patients traités par aligneurs. Tous les patients avaient des malocclusions de classe I légère à modérée (encombrement incisif de 5 mm) et ont été traités sans extraction.

La partie prospective de l'étude a déterminé le temps nécessaire de rendez-vous pour les deux traitements à l'aide d'un chronomètre.

En conclusion Buschang a démontré que par rapport à la gouttière, le traitement fixe nécessitait beaucoup plus de visites (P, 0,01) (environ 4,0), une durée de traitement plus longue (5,5 mois), plus de visites d'urgence, plus de temps au fauteuil (93,4 minutes). Cependant, les aligneurs ont montré des coûts matériels significativement plus élevés (P, 0,01) et ont nécessité un temps de traitement total nettement plus long qu'un traitement conventionnel (P, 0,01).

Une autre étude de 2017 réalisée par Zheng (35) sur 252 patients a montré que les gouttières semblent avoir un avantage significatif en ce qui concerne le temps passé au fauteuil et la durée du traitement dans les cas légers à modérés.

4. Accélération du temps de traitement

Les patients sont désireux de traitements rapides, selon l'étude d'Uribe et al. publiée en 2014 (36), ils étaient prêts à payer des honoraires jusqu'à 20% plus élevés pour bénéficier d'un traitement orthodontique plus court.

Outre les méthodes pharmacologiques à l'aide de parathormone, glucocorticoïdes, ostéocalcine ou encore de prostaglandines, on retrouve également des techniques chirurgicales comme :

- La fibrotomie supra crestale : Cette méthode consiste à faire une section des fibres gingivo-dentaires pour accélérer la vitesse de mouvement de la dent.
- La corticotomie : Cette technique consiste en une procédure chirurgicale de l'os cortical autour des dents à déplacer. Kõle en 1959, était le premier à introduire ce concept pour accélérer le mouvement dentaire (37). Ceci peut être fait sur toute l'arcade ou certains segments seulement. C'est un traitement réservé pour les adultes. Pour ce faire, les corticotomies nécessitent l'élévation un lambeau pleine épaisseur, c'est-à-dire muco-périosté, du côté buccal et lingual.
- L'orthodontie accélérée par assistance ostéogénique parodontale : Développée par Wilcko en 2000 (38), c'est une technique invasive qui consiste en une activation osseuse comprenant une décortication alvéolaire, des ostéotomies et un amincissement de l'os.

Le principe consiste à créer une mince couche d'os $\leq 1,5\text{mm}$, au niveau de la proéminence radiculaire ensuite de faire les traits de coupe dans la corticale, et enfin de faire une greffe osseuse. Il se produit une déminéralisation, la dent sera déplacée facilement et rapidement pour

ensuite avoir une reminéralisation grâce à la greffe. La greffe peut aussi corriger des fenestrations osseuses et augmenter le volume de l'os alvéolaire.

- La piézocision : Selon Didart (39) « La piézocision est une nouvelle technique peu invasive combinant des micro-incisions et des décortications réalisées par un piézotome afin d'accroître la vitesse de déplacement des dents. La technique combinée permet une greffe simultanée des tissus durs et / ou mous via un effet tunnel sélectif pour corriger les récessions gingivales ou les déficiences osseuses »

La littérature recense peu d'articles sur la combinaison entre la piézocision et Invisalign.

Un case report de 2011 (40) réalisé par Dibart a permis de montrer que la piézocision raccourcissait le temps de traitement. Une dentiste américaine de 28 ans souhaitait un meilleur alignement et demandait une solution qui ne nécessiterait pas une grande durée de traitement. Elle présentait une relation canine et molaire de classe I avec sa ligne médiane inférieure décalée vers la droite et un léger encombrement mandibulaire. L'orthodontie conventionnelle avec appareils esthétiques fixes supérieurs et inférieurs lui a été présentée comme une option de traitement, mais elle a refusé.

Son analyse ClinCheck® a révélé qu'elle avait besoin de huit dispositifs d'alignement au maxillaire et de 16 à la mandibule pour obtenir le résultat souhaité. Une réduction interproximale (IPR) était nécessaire pour corriger son décalage médian inférieur. La chirurgie de piézocision a été réalisée 1 semaine après la mise en place du premier groupe d'aligneurs. Une anesthésie locale a été réalisée et des incisions interproximales verticales ont été pratiquées sous la papille interdentaire, sur la face vestibulaire du maxillaire, à l'aide d'une lame. Ses dents maxillaires ont été alignées en 8 semaines avec 8 aligneurs. Ses dents mandibulaires étaient alignées et sa ligne médiane inférieure était corrigée en 16 semaines avec 16 aligneurs.



Figure 23 : Situation clinique avant traitement



Figure 24 : Piezocision associée à Invisalign



Figure 25 : Situation finale avec alignement inter incisif

Un article plus récent datant de 2016, intitulé « Incisalign : A Novel Surgical Technique to Integrate Corticotomies in the Invisalign® Orthodontic Treatment » rédigé par Diaspro (41) traite du cas d'un jeune homme de 24 ans présentant une malocclusion molaire bilatérale de classe I avec un encombrement sévère, une bécance antérieure et une endomaxillie. Dans le but d'éviter une distraction palatine chirurgicale, une approche par corticotomies et traitement Invisalign fût choisie, ce qui donna le néologisme « Incisalign ». Après l'intervention, et durant la phase de régénération des tissus mous et durs appelée « Regional Acceleratory Phenomena », les aligneurs furent changés tous les 5 jours, ce qui permet de réduire le temps de traitement de 30 à 18 mois. Aucune hypersensibilité dentinaire ni de résorption radiculaire n'ont été rapportées.

Les conclusions de ce case report indiquent que d'autres études sont nécessaires pour confirmer ces résultats mais qu'il s'inscrit dans la lignée des deux autres seuls papiers traitant de ce sujet (celui développé ci avant et un autre de 2001 de Owen AH (42)). Il semblerait qu'au moyen de cette technique il soit possible de traiter des malocclusions sévères.



Figure 26 : Vue endo-buccal avant et après traitement



Figure 27 : Corticotomie

- L'AcceleDent® (43)

Il a été mis sur le marché par la société OrthoAccel Technologies en 2009. Ce dispositif est composé d'un activateur, qui génère des micropulsions, et d'un embout buccal. Le patient place l'appareil entre ses dents et mord pendant 20 minutes par jour, et ce pour toute la durée du traitement orthodontique. L'AcceleDent® aura vibre à une fréquence de 30 Hz avec une force d'une valeur de 25 grammes. Il est approuvé par le « Food and Drug Administration » (FDA) comme un dispositif médical de classe II, mais il est contre-indiqué si un patient prend des médicaments pour l'ostéoporose ou s'il a une maladie parodontale non contrôlée.

Un microprocesseur est intégré à l'appareil et permet d'enregistrer l'utilisation qui en est faite, il est également muni d'une clé USB pouvant être branchée à un ordinateur pour télécharger le graphique FastTrac qui a enregistré la date, l'heure et le temps d'utilisation.



Figure 28 : Dispositif AcceleDent® aura



Figure 29 : Embout USB

Uribe et al. (36) ont démontré que 78% des patients adultes, 87% des adolescents et seulement 70% de leurs parents accepteraient d'utiliser un appareil vibratoire quelconque pour accélérer le traitement d'orthodontie.

A l'heure actuelle 1 seule étude randomisée (44), réalisée en 2018 par Katchooi et al traite de ce dispositif.

Les participant étaient des patients adultes avec des malocclusions nécessitant moins de 25 jeux de gouttières. Le groupe A était utilisateur du dispositif, le groupe B non.

La variable étudiée était le pourcentage de participants terminant avec succès leur série initiale de gouttières en les changeant toutes les semaines. Ils mesuraient également la douleur et la qualité de vie à l'aide de questionnaires. Pour finir, ils mesuraient la compliance avec les appareils AcceleDent.

L'objectif de l'étude était de savoir si AcceleDent rendait possible ou non un traitement orthodontique plus rapide en permettant aux patients Invisalign de changer leurs gouttières toutes les semaines mais également s'il y avait des différences en termes d'alignement, de qualité de vie bucco-dentaire et de douleur.

En conclusion ils n'ont pas trouvé de preuves qui pouvaient suggérer qu'AcceleDent augmentait le taux de déplacement dentaire, et de manière surprenante ils n'ont pas trouvé de différence significative dans les taux d'achèvement de traitement entre les 2 groupes.

Ce système reste très peu utilisé en France, et doit faire l'objet de plus de recherche afin d'affirmer son intérêt.

- Dispositif LED OrthoPulse (45)

L'appareil à LED intra-oral OrthoPulse (iO) est un dispositif de photomodulation laser de faible niveau destiné à stimuler le mouvement orthodontique des dents et à réduire le délai global de traitement. OrthoPulse utilise une longueur d'onde proche de l'infrarouge à 850 nm, ce qui est sans danger pour le contact avec les tissus et une très faible puissance (moins de 50 mW / cm²) pour s'adapter à l'application.

Ce dispositif est semblable à un protège-dents sportif en plastique, avec la technologie LED intégrée sur un circuit flexible. La lumière est dirigée vers la surface alvéolaire lorsque l'appareil est en bouche. Il est conçu pour traiter une arcade (pendant 5 minutes) et est réversible par le patient pour traiter l'autre ensuite.



Figure 30 : Dispositif LED OrthoPulse

Plusieurs auteurs se sont intéressés à cet appareil, parmi eux nous pouvons citer le Dr Kenji Ojima qui dans son étude de cas (46), montra que l'orthoPulse permet de réduire le temps de traitement d'une femme présentant une béance avec encombrement maxillaire et mandibulaire de manière significative, sans que cela n'engendre de douleur ni de résorption radiculaire.

D'autres auteurs en vinrent aux mêmes conclusions comme Dickerson (47) Kau (48) et Shaughnessy (49).

Cependant il convient une nouvelle fois de préciser que d'autres études sont nécessaires pour témoigner du réel intérêt de ce dispositif.

5. Indications thérapeutiques et limites

En 2005, Lagravère et Flores-Mir (50) ont publié un compte rendu dans lequel seules deux études fondaient leurs critères d'inclusion sur l'efficacité du traitement Invisalign.

Les auteurs ont déclaré qu'aucune conclusion solide ne pouvait être tirée sur les indications du dispositif. Ils ont également mis en évidence la difficulté de futures comparaisons étant donnée l'évolution des matériaux utilisés et l'importante inter-variabilité des praticiens.

En 2015, Rossini et al ont réalisé une revue systématique comprenant 11 études comprises entre 2003 et 2014.

Le niveau de qualité des études (niveaux de preuve B et C) n'a pas été suffisant une nouvelle fois pour tirer des conclusions factuelles cependant selon eux :

- Les gouttières sont efficaces et capables d'aligner et niveler les arcades chez les sujets qui ne sont pas en croissance.
- Le mouvement d'intrusion antérieure est comparable à celui réalisé par un arc.
- Cette thérapeutique est efficace dans la distalisation même supérieure à 1,5mm des molaires maxillaires.

Cependant,

- Elle ne serait pas efficace pour contrôler l'extrusion antérieure, mais cela n'a pas été vérifié depuis l'innovation G6.
- Les dérotations, en particulier des canines sont encore mal maîtrisées.

D'après cette revue systématique il serait donc possible de réaliser des mouvements complexes. L'efficacité moyenne de la rotation serait de 47,3%, alors que celle de la distalisation serait de 87% et celle du torque incisif de 50%. Ils concluent en indiquant qu'il serait bien de considérer des surcorrections lors de la planification du traitement afin de surmonter les corrections plus difficiles.

L'auteur précise bien qu'un traitement par aligneur nécessite l'utilisation d'auxiliaires pour améliorer la prévisibilité du mouvement orthodontique.

Les contre-indications sont :

- Un décalage de plus de 2 mm entre Relation Centrée et position d'Intercuspitation Maximale
- Une pathologie de l'A.T.M incontrôlée
- Les maladies parodontales avancées non contrôlées
- Les résorptions radiculaires
- La phase de denture mixte
- L'absence de toutes les dents postérieures

Un problème récurrent et important à souligner est l'apparition d'une inoclusion postérieure en fin de traitement.

Plusieurs facteurs principalement non pris en compte lors de la planification peuvent engendrer cette situation :

- Un surplomb insuffisant
- Un recouvrement trop important
- Un torque des incisives maxillaires insuffisant
- Un torque des canines maxillaires insuffisant
- Une bascule mésiale des molaires par manque d'ancrage
- Une ingression des dents postérieures en cas de bruxisme

Parfois le déplacement molaire n'est pas nécessaire car le traitement ne concerne que des déplacements de la région antérieure, parfois jusqu'aux prémolaires seulement. Cependant le ClinCheck va déplacer également les molaires et ainsi modifier complètement le schéma occlusal du patient. Il faut donc se montrer prudent lors de l'établissement du plan de traitement en ligne.

Comment faire pour résoudre une inoclusion postérieure en fin de traitement ? Quatre possibilités.

1. Réaliser une phase de finition pour éliminer d'éventuelles prématurités antérieures, ou pour égresser les prémolaires/molaires.
2. Meulage à minima des dents antérieures
3. Découper les aligneurs en distal des canines pour permettre aux dents postérieures de rentrer en occlusion
4. Réaliser une contention 3-3 à la mandibule, une gouttière épaisse pour le bloc antérieur maxillaire et laisser les dents postérieures mandibulaires s'égresser.

Nous allons maintenant détailler les malocclusions les plus fréquemment rencontrées et leur traitement par Invisalign.

5.1. Classe I DDM

5.1.1. DDM par défaut

Il est indéniable que Invisalign trouve sa principale indication dans les encombrements. La société en a fait son principal argument de marketing et s'est faite connaître ainsi. Beaucoup de patients adultes n'ayant pas bénéficié d'orthodontie souhaite corriger leur DDM sans devoir porter « de bagues » (51).

Dès 2000 Boyd affirmait obtenir de résultats satisfaisants sur des encombrements légers à modérés (52).

En 2018 Duncan (53) a conclu qu'Invisalign® pouvait résoudre efficacement l'encombrement mandibulaire lorsque celui-ci était <6 mm en réalisant une réduction amélaire interproximale, une expansion, et une vestibuloversion. Précisons aussi que la position des incisives restait stable après le traitement.

Hennessy en 2016 (54) a randomisé quarante-quatre patients (âge moyen, $26,4 \pm 7,7$ ans) en deux groupes, l'un avec un traitement fixe et l'autre par aligneur selon un ratio 1:1.

Les caractéristiques initiales étaient similaires pour les deux groupes : l'encombrement moyen des appareils fixes était de $2,1 \pm 1,3$ mm par rapport à l'encombrement moyen des gouttières, $2,5 \pm 1,3$ mm; l'inclinaison moyenne des incisives mandibulaires avant traitement pour le groupe des appareils fixes était de $90,8 \pm 5,4$ ° contre $91,6 \pm 6,4$ ° pour le groupe Invisalign. Les appareils fixes ont redressé de $5,3 \pm 4,3$ ° les incisives mandibulaires tandis que les valeurs étaient de $3,4 \pm 3,2$ ° pour les aligneurs.

La différence entre les deux groupes n'était pas statistiquement significative ($p > 0,05$).

L'auteur reconnaît volontiers l'existence de biais dans cette étude, il faut donc prendre ses résultats avec précaution.

A noter de plus que le redressement du tip d'incisives mandibulaires en éventail est plus efficace avec un arc qu'avec un aligneur.

Parfois l'extraction d'une incisive mandibulaire (généralement une latérale) est nécessaire lorsque l'encombrement est trop sévère. C'est une option thérapeutique qu'il ne faut pas privilégier en première intention mais qui est prédictible avec Invisalign. La difficulté principale réside dans la gestion de la papille et des tissus mous. L'avulsion est programmée en accord avec le patient, il est préférable de réaliser les empreintes en amont. Le traitement est initié le jour de l'intervention, en effet l'os se trouve à ce moment dans les meilleures conditions pour engendrer les mouvements orthodontiques.

Pour Zawawi (55) l'extraction d'une incisive mandibulaire peut être envisagée lorsque le patient présente des agénésies des incisives latérales maxillaires ainsi qu'un encombrement antérieur mandibulaire modéré à grave.

5.1.2. DDM par excès

Boyd encore affirmait que le système était efficace pour corriger des diastèmes compris entre 3 et 6mm (52).

Très peu d'études y sont consacrées tant il est accepté que les aligneurs peuvent facilement traiter ce motif de consultation.

Pour Schupp et Haubrich (16) « la fermeture d'espaces est l'un des mouvements les plus facilement réalisables grâce au système Invisalign puisque l'aligneur est capable de prendre la totalité de la couronne du fait des espaces entre les dents ».

Il est toutefois conseillé de prévoir une sur-correction dès le début du traitement.

Ces deux auteurs ont également soutenu que le système était plus adapté qu'un multi-attaches pour corriger les diastèmes sur des patients présentant une parodontopathie. En effet des forces faibles peuvent être appliquées en augmentant le nombre de gouttières et en ralentissant les séquences. Ils rappellent cependant qu'il est impératif de gérer la maladie parodontale en amont et de veiller à placer le patient en maintenance tout au long de la phase orthodontique.

5.2. Anomalies du sens vertical : supraclusion et béance

La plupart des articles traitant la supraclusion sont des cases report.

Khosravi en 2017 (56) a publié une étude rétrospective de 120 patients, répartis en 3 groupes en fonction de leur analyse céphalométrique : recouvrement normal (de 0 à 4mm), excès de recouvrement (plus de 5mm) et béance antérieure.

Entre 11 et 40 aligneurs furent utilisés pour chaque arcade, le plan de traitement était sans extraction, la relation occlusale antéropostérieure n'a pas été modifiée (par exemple, pas de changement d'occlusion de classe II à classe I), les relations postéro-transverses n'ont pas été modifiées non plus (par exemple, aucune correction d'articulation croisée postérieure), de plus les appareils fixes n'ont pas été utilisés.

Les conclusions de cette étude indiquent que Invisalign est relativement efficace dans la gestion de la supraclusion. Le système ne modifie pas les rapports chez les patients présentant un recouvrement normal mais elle permet de lever un excès de recouvrement principalement par ingression des incisives mandibulaires. Les résultats indiquent également qu'une béance antérieure légère à modérée est corrigée principalement par extrusion incisives.

Garnett (57) dans une étude rétrospective s'est intéressé à comparer le contrôle de la dimension verticale dans un traitement de béance par aligneur et par thérapeutique fixe sur des 53 patients hyperdivergents. La correction dans les deux groupes était effectuée par rétro-version des incisives maxillaires et mandibulaires tout en maintenant la position verticale des molaires.

La comparaison céphalométrique n'a pas montré de différence significative dans la façon de réduire la béance et de modifier la valeur de l'angle mandibulaire entre les aligneurs et la fixe.

Giancotti en 2017 (58) a publié un article présentant 3 cas cliniques dans lesquels il montre que les aligneurs peuvent aujourd'hui traiter une béance antérieure (même supérieure à 2.5mm dans un contexte de classe II).

Il rappelle que ce trouble a longtemps été considéré comme difficile à normaliser de part son étiologie multi-factorielle et sa récurrence (59), lui-même étant sceptique en 2010 (60).

Pour Giancotti il est capitale de différencier les béances dentaires vraies traitées par orthodontie seule, des béances squelettiques pour lesquelles la chirurgie orthognatique ou le recours à des mini-vis combiné à l'orthodontie sera la meilleure approche.

Grâce aux nouveaux attachements il est désormais plus facile d'égresser les molaires et l'ingression / égression des incisives est plus prédictible. Rappelons cependant qu'il est préférable de ralentir les séquences d'un aligneur à l'autre afin d'avoir le plus de maîtrise possible sur les mouvements dentaires, et que plus d'études sont nécessaires afin d'affirmer tous ces résultats.

5.3. Classe II

5.3.1. Approche non chirurgicale

L'application d'une force par un corps va créer une réaction sur celui-ci dans la direction opposée, c'est pour cette raison qu'il n'est possible de se priver de moyens d'ancrage pour réaliser des déplacements. Ceci est d'autant plus vrai pour les mouvements distaux pour éviter un effet parasite et limiter la contre-force mésiale.

Une légère ingression des incisives maxillaires est possible à la suite d'une perte d'ancrage, c'est pour cette raison que la pose d'attaches sur ces dents peut s'avérer nécessaire.

Selon Daher, (61) dans la quasi-totalité des traitements de classe II les élastiques sont placés sur un crochet collé sur la canine (afin d'empêcher la rotation induite par l'élastique) d'une part et sur un bouton métallique au niveau de la 6 mandibulaire d'autre part.

Grâce aux Precision Cut, l'encoche est désormais intégrée à l'aligneur, et il est désormais possible de demander un espacement dans ce dernier pour y intégrer le bouton métallique.

Dans son étude menée sur 14 patients en classe II bout à bout ou complète, âgés de 24 à 52 ans, Daher a obtenu une distalisation céphalométrique dans 100% des cas sans utilisation d'auxiliaire. Il conclut ainsi :

- L'utilisation d'Invisalign et des élastiques peut s'effectuer pour les corrections dentaires de Classe II Div I et Div II jusqu'à 4 mm, avec des durées de traitement équivalentes à celles des appareils fixes
- Une protraction ou un mouvement mésial des dents mandibulaires en réponse aux élastiques de Classe II peut apparaître, de manière plus évidente chez les patients en pleine croissance.
- Contrairement aux appareils fixes, les élastiques de Classe II peuvent être utilisés en début de traitement avec Invisalign.
- Le port d'un aligner minimise les effets secondaires des élastiques sur la hauteur de l'étage inférieur du visage et la vestibulo-version des incisives mandibulaires.

Notons tout de même que l'auteur est financé par Align Technology, ce qui remet totalement en cause ces résultats.

Une autre étude a été publiée en 2016 par Ravera et Castroflorio (62), dans laquelle les auteurs sont partis du principe que la distalisation molaire par aligneur n'était pas possible. Ils sont finalement parvenus à la conclusion qu'un recul de 2,25 mm pour les 6 et 2,52 mm pour les 7 était réalisable avec des élastiques, sans provoquer de tipping des incisives et sans conséquence sur la dimension verticale ($p < 0,05$).

On peut cependant leur reprocher que seuls 20 patients ont été inclus ce qui est trop peu pour s'assurer de la véracité de l'étude et se pose également la question d'un conflit d'intérêt puisque Daher y a participé.



Figure 31 : Cas clinique illustrant le traitement d'une classe II par aligneur et élastiques

Actuellement il n'y a pas d'autre article sur le traitement des classes II par aligneurs avec des élastiques.

Selon Schupp (63) la séquence « idéale » pour le traitement des classes II est :

- Distalisation des deuxièmes molaires maxillaires
- Distalisation des premières molaires lorsque les deuxièmes ont effectué 50% du déplacement
- Distalisation des prémolaires uniquement lorsque les deuxièmes molaires ont atteint leur position finale
- Distalisation des canines quand les premières molaires sont en place, et des attaches sont placées sur 12,11,21,22 pour maintenir l'ancrage.

Toujours selon lui, le patient doit porter les élastiques uniquement la nuit lors du mouvement des deuxièmes molaires puis pendant trois heures de plus la journée à partir du moment où le déplacement des 6 est initié. Il est recommandé de porter les élastiques pendant encore 3 mois après la fin du traitement. Ces derniers doivent développer au maximum une force de 80 grammes.

Cas d'un pré-traitement d'une classe II par distaleur de Carrière chez un patient en denture adulte jeune ou adulte stable.

Dans un souci de préservation dentaire, et dans le principe de « primum non nocere », il est préférable d'éviter les extractions de prémolaires même dans le but de passer en classe I. Ainsi il est courant de débiter le traitement par un distaleur de Carrière puis de passer sur des gouttières. Ce dispositif collé sur les canines et les premières molaires maxillaires permet de déplacer en direction distale le bloc postérieur maxillaire en redressant la 6 vers une position occlusale favorable. Ce pré traitement permet selon Schupp de distaler prémolaires et molaires de 3 à 6 mm en moyenne et nécessite une bonne coopération du patient.

Une étude de 2012 réalisée par Collvile (64) et reprise par Bowman en 2015 (65), indique que cette technique est efficace en cas de classe II simple à modérée et que le recours à des mini-vis est nécessaire dans les cas complexes.

Bowman rappelle que le distaleur va créer un diastème entre la canine et l'incisive latérale et qu'il est donc primordiale que le patient soit compliant et qu'il porte ses aligneurs avec les élastiques.

Cas de la classe II/2

Castroflorio (66) en 2013 a montré que Invisalign permettait de produire un torque prédictible grâce aux Power Ridge. Il déclara « Bien que la difficulté de contrôler des mouvements de bascule radicaire à l'aide d'aligneurs a déjà été mentionné, l'influence du Power Ridge montre que la perte de torque est négligeable si la correction initialement requise est d'environ 10°.

L'auteur a voulu dire par là que cette technologie devrait permettre d'augmenter le contrôle du mouvement des incisives maxillaires par rapport à un système multi-attaches.

Cependant aucune étude actuellement ne fait état du traitement du traitement de classe II.2 par aligneurs seuls.

5.3.2. Approche chirurgicale

Concernant l'approche chirurgicale, un seul cas a été publié Womack (67) en 2008 : il s'agit d'un cas avec avancée mandibulaire.

Kankam et son équipe (68) se sont intéressés à la faisabilité d'une chirurgie d'avancée mandibulaire segmentaire bilatérale dans un contexte de classe II en utilisant simplement que des gouttières. Leur case report répertorie 13 patients ayant bénéficié d'une chirurgie orthognatique, leur conclusion semble indiquer qu'il est possible d'envisager ce traitement sans avoir recours aux brackets et arcs métalliques. Selon eux le caractère amovible du dispositif, les visites de contrôle moins fréquentes, la meilleure santé gingivale et une moindre stigmatisation sociale font que cette procédure doit faire partie de l'arsenal du chirurgien-maxillo-facial et de l'orthodontiste.



Figure 32 : Vis d'ancrage osseuses et l'attelle finale pour établir l'occlusion prévue et la position maxillomandibulaire.



Figure 33 : Correction d'une classe II par chirurgie et Invisalign

5.4. Classe III

5.4.1. Approche non chirurgicale

Bien qu'initialement le système ne soit prévu pour traiter ce genre de malocclusion, certains praticiens arrivent désormais à réaliser des distalisations dentaires mandibulaires pour obtenir une relation de classe I et ce malgré un inversé d'articulé. Ceci est rendu possible par des élastiques de classe III appliqués avec une force de 80 grammes, et par l'avènement du SmartTrack.

Cependant aucune étude basée sur des preuves permet de prévaloir ce type de traitement, tout ce qui est actuellement recensé dans la littérature relève du case report. Ce sera donc au praticien de décider quelle thérapeutique est la plus adaptée pour son patient.

Yamaguchi (69) préconise tout de même de combiner gouttières, élastiques et mini-vis pour assurer un véritable ancrage osseux.

Il existe une galerie numérique sur laquelle des praticiens du monde entier expose des centaines cas cliniques traités par Invisalign.

J'en ai choisi un qui me semblait particulièrement intéressant : un homme de 34 ans présentant une classe III, avec inversé d'articulé, un encombrement incisif, des arcades étroites et asymétriques.



Figure 34 : Vue endobuccale initiale des secteurs 1 et 4



Figure 35 : Vue endo buccale initiale de face



Figure 36 : Vue endo buccale initiale des secteurs 2 et 3

Le praticien a utilisé :

- Des élastiques de classe III
- Des élastiques verticaux

- Des Power Ridge en vestibulaire de 32
- Des Optimized Rotation Attachment (G3) en vestibulaire de 13 et 23 et palatin de 14
- Des Optimized Root Control Attachments (G4) en vestibulaire de 13, 24,25,44 et 34
- Des Optimized DeepBite Attachments (G5) pour l'ancrage en vestibulaire de 45 et 35



Figure 37 : Situation en fin de traitement des secteurs 1 et 4



Figure 38 : Situation en fin de traitement de face



Figure 39 : situation en fin de traitement des secteurs 2 et 3



Figure 40 : Comparaison du panoramique et de la TRP en début et en fin de traitement

La durée totale du traitement a été de 24 mois, 48 aligneurs au maxillaire et 55 à la mandibule ont été nécessaires, chaque gouttière étant portée 10 jours.

Ce cas illustre classiquement le patient refusant la chirurgie. On peut cependant constater l'inocclusion postérieure en fin de traitement, que le praticien a sans aucun doute traité par la suite.

Cette solution non chirurgicale n'est pas toujours en mesure de résoudre la problématique typique d'une grave asymétrie morpho-squelettique, mais elle pourrait être utile dans cas moins extrêmes, tels que les asymétries fonctionnelles.

Nous allons désormais nous intéresser à des cas orthodontico-chirurgicaux.

5.4.2. Approche chirurgicale

Pour de nombreux patients, le traitement chirurgical de la malocclusion de classe III représente la seule thérapeutique possible. Il faut du temps, en raison non seulement des phases de diagnostic et de planification, mais également la durée du traitement lui-même. Pour cette raison, la motivation est une question importante qui ne doit pas être sous-estimée.

Pour Needham (70), l'extraction d'une incisive mandibulaire permet de traiter une classe III, il s'appuie sur les travaux de Canut (71) qui affirmait en 1996 que ce choix d'avulsion était plus stable comparé aux prémolaires. Quant au fait de savoir quelle incisive extraire, il faut bien évidemment prendre en compte

l'état parodontal, leur rapport les unes par rapport aux autres mais aussi le rapport par rapport au plan sagittal médian.

Il est possible d'extraire dans les situations suivantes :

- Présence d'une incisive mandibulaire surnuméraire.
- Différence de taille de dent impliquant des incisives latérales supérieures
- Eruption ectopique, malposition sévère, transposition ou exclusion d'une incisive inférieure.
- Récession gingivale importante ou déhiscence labiale d'une incisive inférieure.
- Un cas de classe I avec un encombrement moyen inférieur à 5 mm
- Malocclusion de classe III modérée avec une occlusion bout à bout ou une articulation croisée antérieure tendant vers la béance.

Selon l'auteur, chez un patient adulte présentant une malocclusion légère à modérée de classe III, l'extraction d'une incisive inférieure peut fournir un espace suffisant pour la rétroclination des incisives restantes et la réalisation d'un surplomb et d'une supraclusion positifs. C'est ce que les orthodontistes appellent « orthodontic camouflage ».

Il convient de rappeler qu'il s'agit ici de rapport de cas cliniques et que cela ne constitue pas un niveau de preuve suffisant pour systématiser ces résultats.

Dès 2005 il a été question de combiner les aligneurs et la chirurgie orthognatique avec Boyd (72). Puis Marcuzzi en 2010 (73) a décrit la correction chirurgicale d'une classe III squelettique avec l'unique utilisation de gouttières Invisalign® et l'ajout de boutons sur les dents pour permettre la fixation intermaxillaire post-chirurgicale.

Pagani (74) dans son rapport de cas utilise les gouttières en plus d'un système fixe en complément de la chirurgie et obtient des résultats stables à 6 ans.

Plus récemment, Chan (75) a publié un cas confortant l'idée que l'association de gouttières et d'un traitement fixe en amont et d'une ostéotomie en aval fonctionnait. En effet, 17 aligneurs furent prévus après modélisation numérique et utilisés en guide préparation chirurgicale. Deux mois avant l'intervention d'avancée maxillaire et recul mandibulaire, des appareils fixes ont été placés. Ils ont été retirés deux mois après la chirurgie et des aligneurs avec des élastiques de classe III ont été commandés pour compléter le traitement. Le traitement a été achevé en 17 mois avec 4 mois d'appareils fixes et 27 aligneurs afin que le patient présente une classe I.

Le niveau de preuve étant faible aucune conclusion n'a pu être tirée par rapport aux traitements combinés d'orthodontie avec Invisalign® et de chirurgie orthognatique.

Pascale Robitaille (76) a donc décidé de réaliser une étude rétrospective sur 49 patients dans laquelle elle a cherché à comparer les résultats de cette procédure à ceux de la procédure traditionnelle, c'est à dire par brackets. L'objectif secondaire est d'évaluer la durée du traitement par Invisalign® par rapport au traitement conventionnel avec des appareils orthodontiques.

Selon les critères de l'American Board Orthodontics , la technique Invisalign® ne s'avère pas être une option aussi efficace que le gold standard pour le traitement conjoint d'orthodontie et de chirurgie

orthognatique. En effet concernant l'alignement, les contacts occlusaux et l'angulation de la racine, les gouttières ont démontré des résultats statistiquement inférieurs aux brackets.

En revanche elle produit des traitements plus rapides, avec une réduction moyenne du temps de traitement orthodontique total de 140 jours.

Il est indispensable de procéder à d'autres études, prospectives si possible afin de confirmer ou infirmer ces résultats.

IV. QUELLE PRATIQUE : ETAT DES LIEUX EN FRANCE A PARTIR DE QUESTIONNAIRES

1. Présentation du questionnaire

1.1. Destiné aux orthodontistes

Il était inconcevable de réaliser une actualisation des connaissances en ne se basant que sur la littérature (dont très peu d'articles français), il fallait également être en mesure de collecter des informations de la réalité « sur le terrain ».

C'est pour cela qu'un questionnaire visant à faire le point sur la pratique ou non de la technique par aligneurs esthétiques a été distribué et complété par 30 orthodontistes et internes en ODF présents aux Journées de l'Orthodontie à Paris. Le but était d'évaluer leur connaissance des différentes marques existantes sur le marché, le recul clinique qu'ils pouvaient en avoir et plus encore leur degré de satisfaction. Il nous paraissait important de découvrir qu'elles étaient les malocclusions de prédilection traitées avec cette technique, les avantages et les inconvénients ressentis et l'avis de ces praticiens quant à l'avenir de ces aligneurs, qui rappelons-le ne sont pas si novateurs.

1.2. Destiné aux omnipraticiens

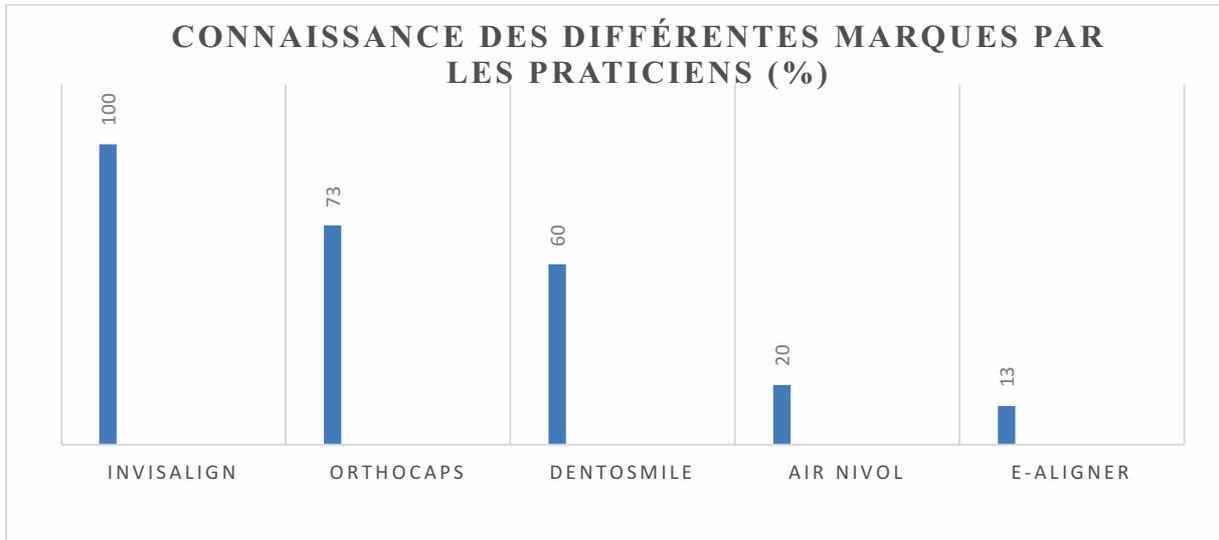
Ce questionnaire distribué à l'ADF de Paris avait pour objectifs d'appréhender l'image perçue des gouttières esthétiques par les chirurgiens-dentistes, de savoir s'ils pensaient à parler de ces dispositifs aux patients et d'évaluer la demande qui leur était faite par ces derniers pour en bénéficier. Nous nous sommes également intéressés de savoir s'ils étaient au fait sur la possibilité de se former à cette technique et s'ils en avaient l'envie. Enfin cela nous a permis de connaître les malocclusions qui selon eux pouvaient être traitées ou non. 20 omnipraticiens ont accepté de répondre.

2. Résultats

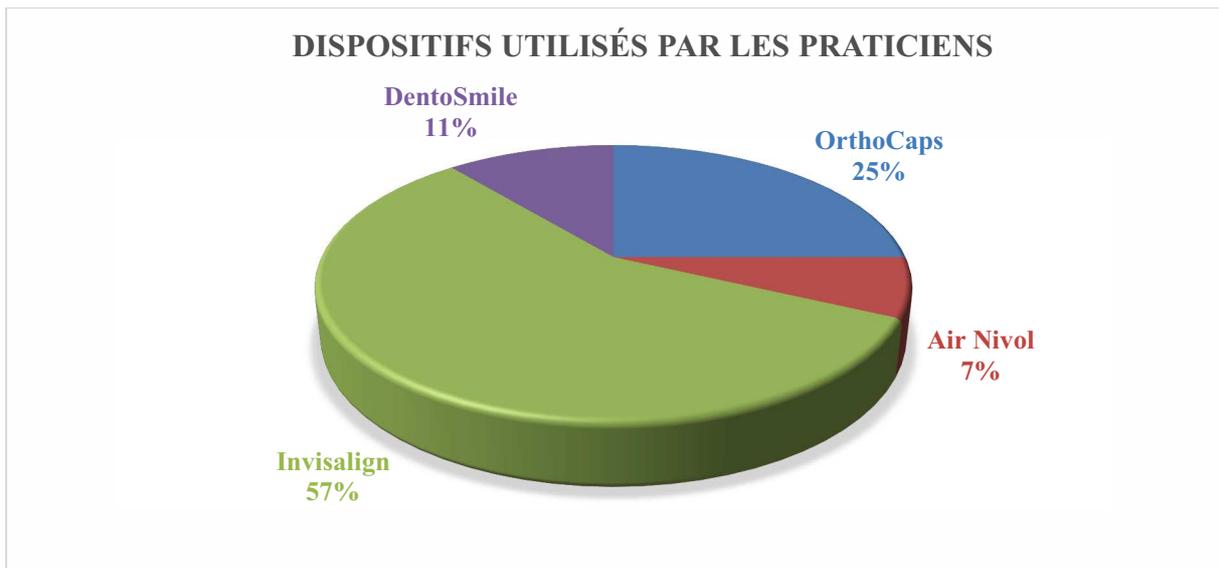
2.1. Des spécialistes

Question 1 : 19 internes et 11 praticiens se sont prêtés au jeu et ont répondu.

Question 2 :



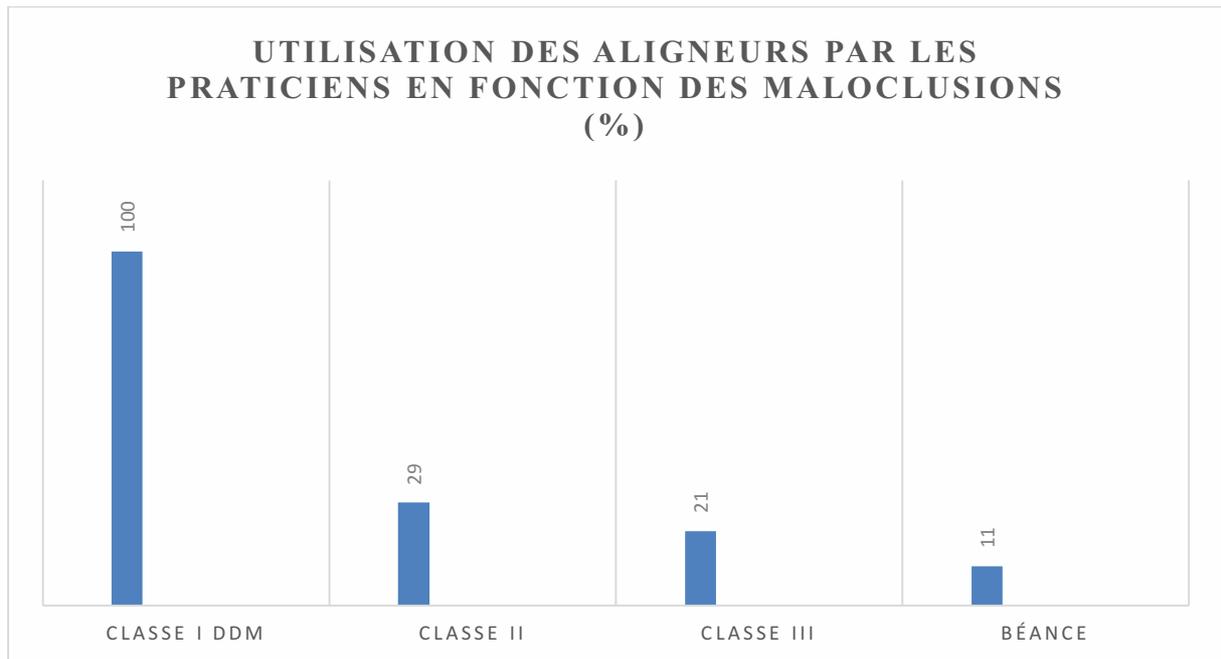
Questions 3 et 4 :



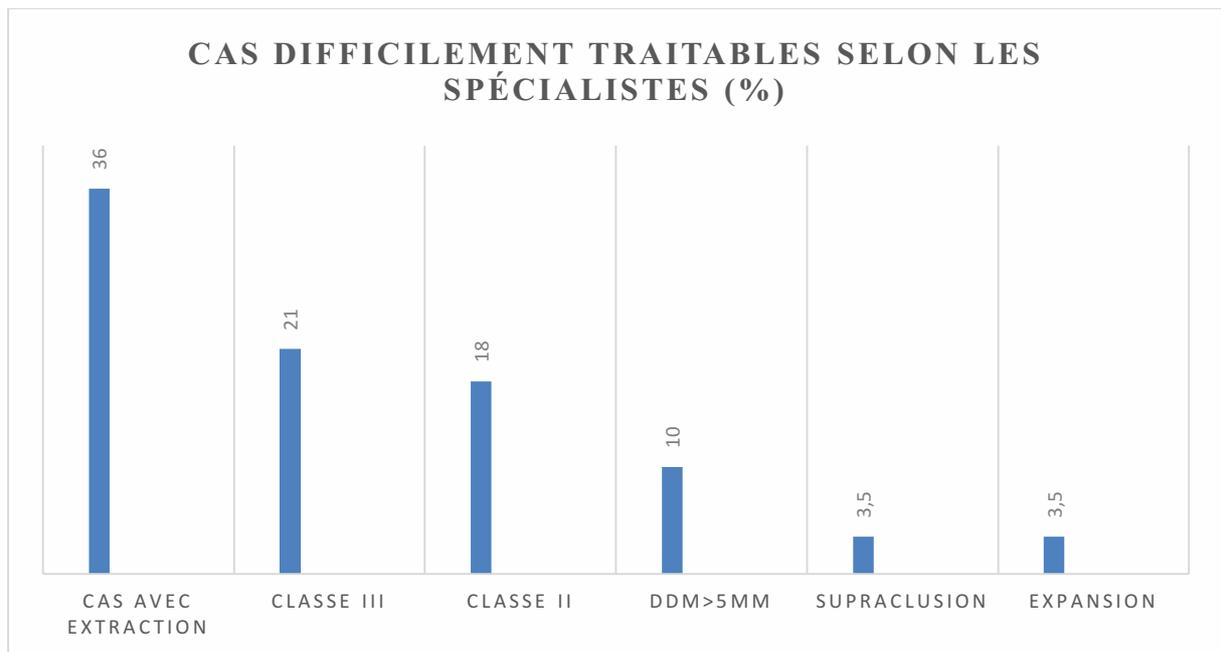
Question 5 :

	< 5 ans	< 10 ans	> 10 ans
Expérience dans le traitement par aligneur	79%	14%	7%

Question 6 :



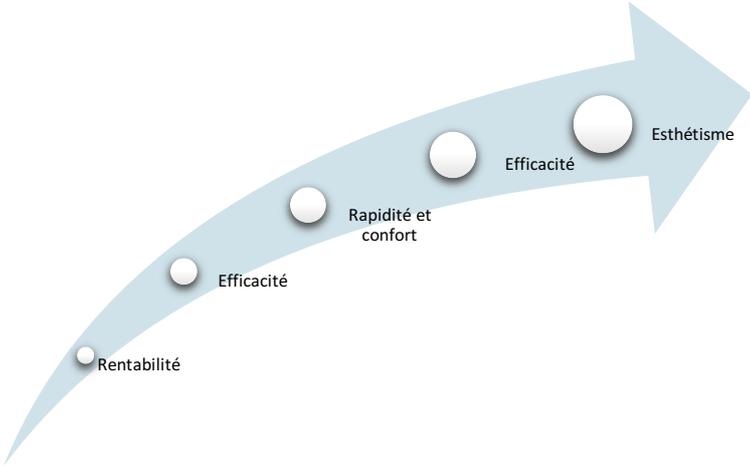
Question 7 :



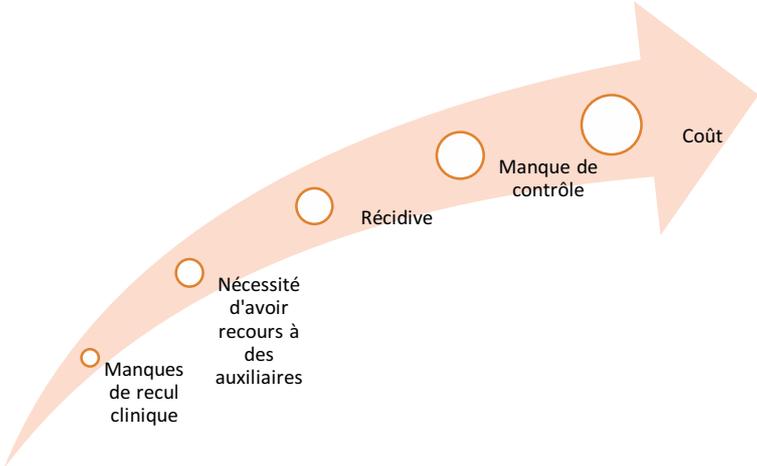
Question 8 :

	Adultes	Adultes + adolescents	Adolescents
Population traitée	77%	23%	0%

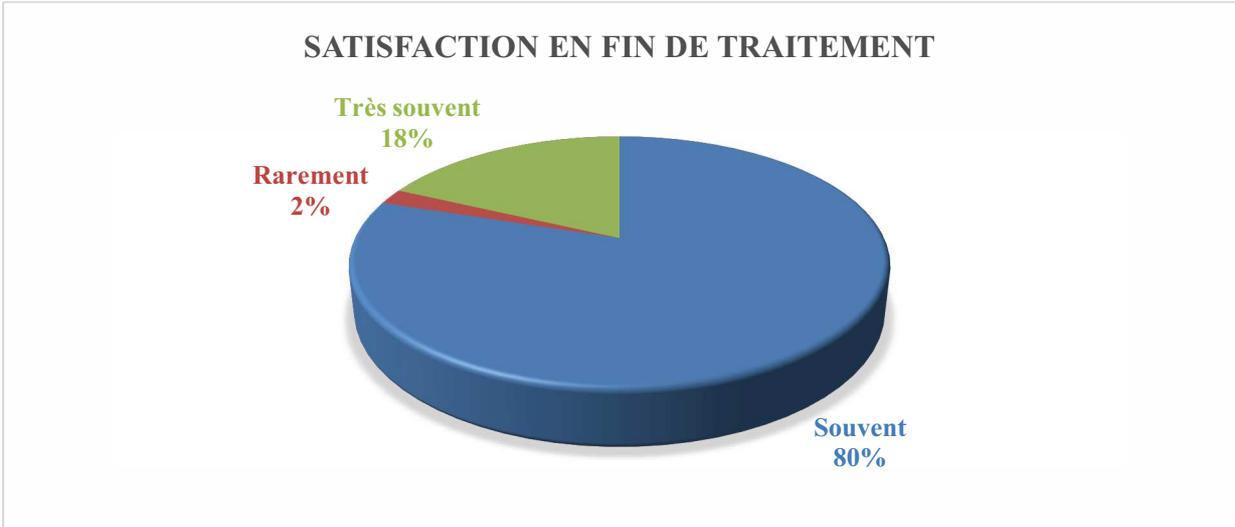
Question 9 : classement des avantages



Question 10 : classement des inconvénients



Question 11 :



Question 12 :

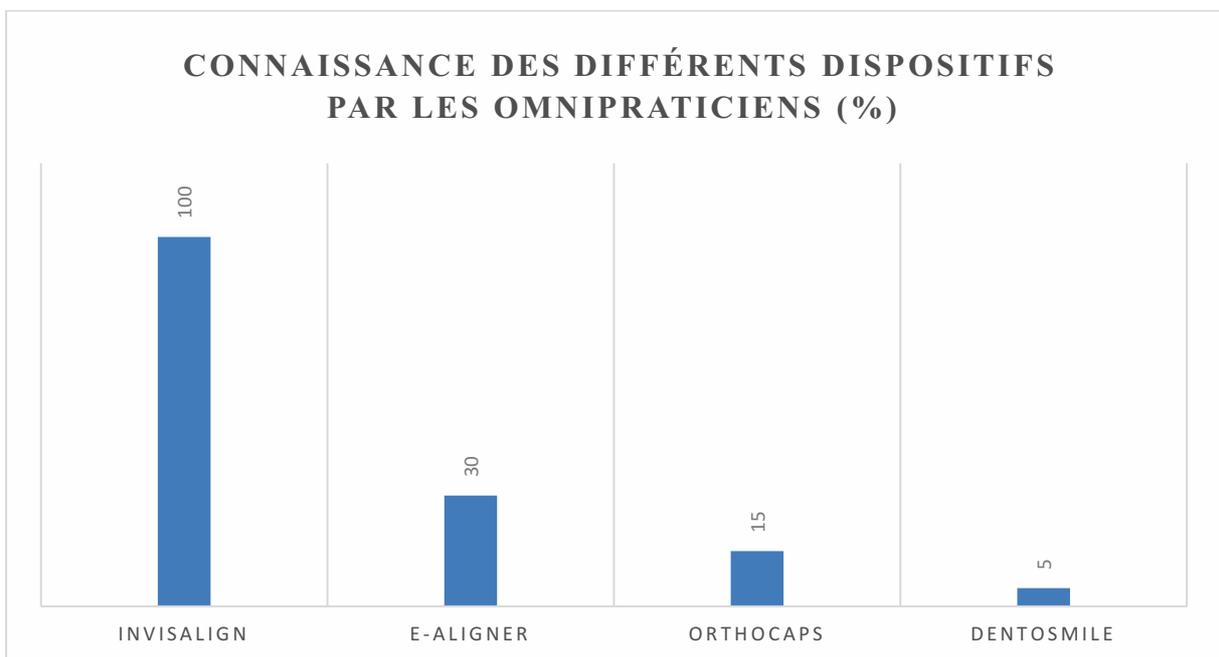
- 16 praticiens pensent que les gouttières ont un avenir certain mais ne sont qu'une thérapeutique parmi l'ensemble de l'arsenal
- 10 praticiens ont en plus précisé qu'elles ne sont réservées qu'aux cas simples
- 2 praticiens considèrent pouvoir traiter presque toutes les situations cliniques

2.2.Des omnipraticiens

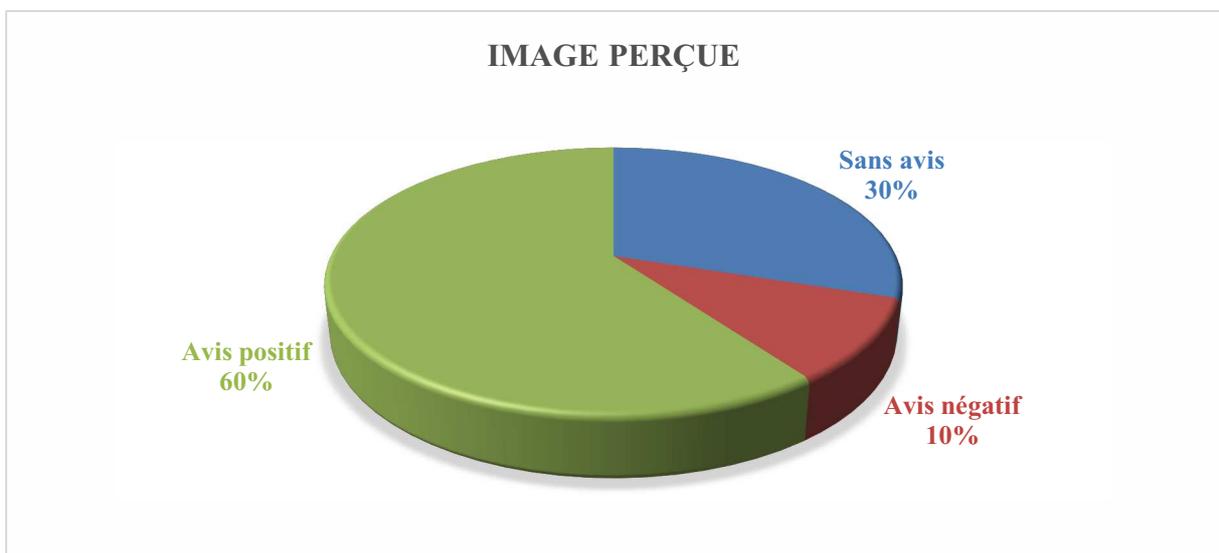
Rappelons que nous comptons 20 participants.

Question 1 : 100% des chirurgiens-dentistes ont entendu parler des gouttières esthétiques.

Question 2 :



Question 3 :



Question 4 :

	Oui	Non
Praticiens évoquant l'existence des gouttières aux patients	75%	25%

Question 5 : 50% ont déjà reçu une demande de la part de leur patient

Question 6 : 90% savent qu'il est possible pour un généraliste d'avoir recours à ces gouttières.

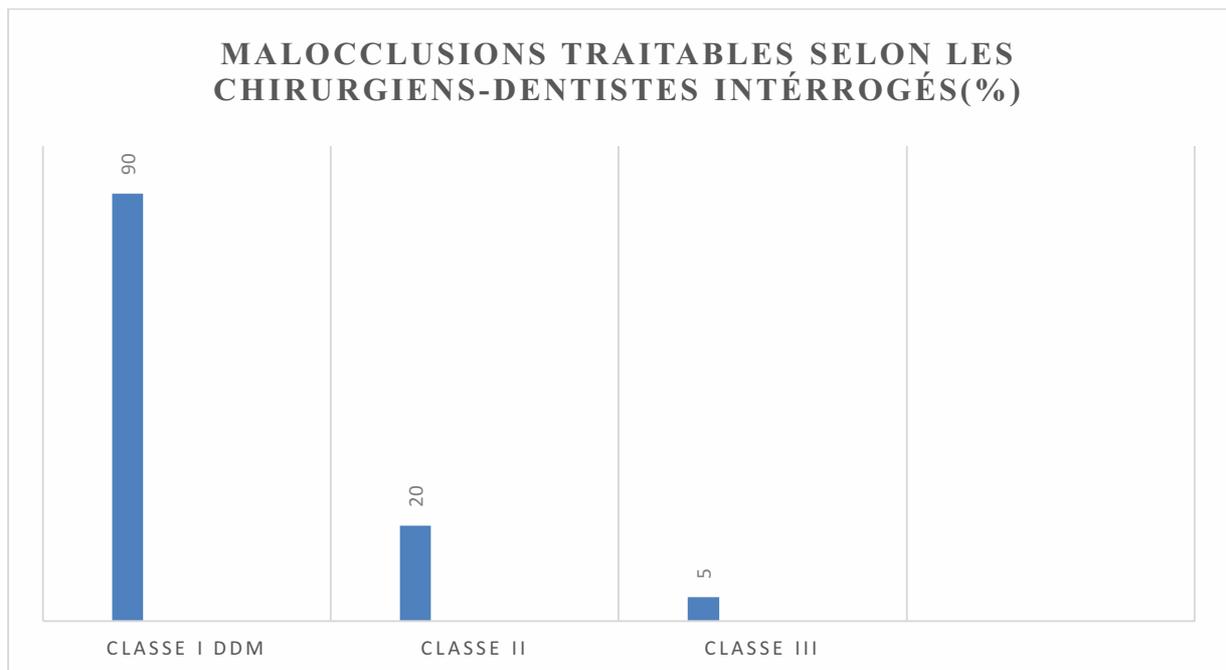
Question 7 :

	Oui	Non
Praticiens souhaitant se former	80%	20%

Question 8 :

- Les 3 réponses ont été cochées par 10 praticiens soit 50%
- Pour 2/20 il s'agirait simplement d'un intérêt pécunière
- 8 (35%) y voient un moyen de répondre à une demande de prise en charge globale du patient et de pouvoir apporter une nouvelle corde à son arc

Question 9 :



3. Analyse

D'après les résultats collectés, nous pouvons dire que Invisalign est largement la marque la plus connue et la plus employée par les spécialistes. Les sociétés françaises sont quant à elles peu utilisées.

Les aligneurs sont progressivement intégrés dans leur pratique, les 2 praticiens qui ne les utilisent pas avaient plus de 65 ans et n'avaient pas eu la volonté de se former et de modifier leur paradigme.

Les sondés n'avaient pas une longue expérience puisque pour près de 80% elle est inférieure à 5 ans, ceci s'explique facilement par le fait que beaucoup sont encore internes et cela constitue inéluctablement un biais. Notons quand même que plus de 20% d'orthodontistes non internes pratiquent cette thérapeutique depuis une période comprise entre 5 et plus de 10 ans.

Tous s'accordent à dire que ce système permet le traitement des classes I DDM légères à modérées, ils sont en revanche plus septiques sur toutes les possibilités que ce soit avec ou sans chirurgie orthognatique ; en effet moins de 1/3 estiment qu'il permet la correction d'une classe II et moins de ¼ celle de la classe III.

La réponse la plus récurrente sur les malocclusions pour lesquelles les gouttières ne sont pas adaptées a été les cas avec extractions, c'est un manque de prédictibilité qui les habite. En corollaire, les DDM importantes, supérieures à 5 mm ne sont pas non plus bien vues ce qui nous fait penser qu'ils les réservent à des cas simples. Pour environ 20% les classes II et III doivent continuer pour l'instant à être traitées de manière traditionnelle.

Ils sont cependant informés quant à la possibilité de traiter les adolescents, beaucoup ont évoqué l'intérêt de l'indicateur de port mais ils privilégient ce type d'orthodontie sur les patients adultes.

Concernant les avantages, pas vraiment de surprises, l'efficacité n'apparaît qu'en avant dernière position mais cela est dû à un manque de connaissances et à des idées reçues. On peut s'étonner davantage sur la rentabilité ; en effet on m'a expliqué qu'en l'absence d'expérience on revoyait très souvent le patient et que l'on passait plus de temps au fauteuil, ce qui était également source de stress supplémentaire.

Pour ce qui est des inconvénients, on devrait en plus de parler du coût de base pour le patient (déjà très important) de surcoût puisqu'il est fréquent d'ajouter des aligneurs en fin de traitement pour parfaire le résultat.

Quelques praticiens m'ont fait part de leur inquiétude en ce qui concerne la récurrence, pour eux les aligneurs ne font que du tipping et ne déplacent pas les racines.

Ce qui ressort le plus est évidemment le manque de recul clinique, ce qui est un faux argument puisque la technique moderne date de près de 20 ans.

Heureusement lorsqu'ils se lancent dans un cas jugé faisable ils sont « plutôt souvent » satisfaits du résultat en fin de traitement qui correspond à ce qui était conceptualisé lors du ClinCheck.

En conclusion de ce questionnaire non exhaustif malheureusement, on peut tout de même s'apercevoir du décalage qu'il existe entre ce que la littérature avance et la pratique qui est faite en France des aligneurs. Les orthodontistes ne sont pas convaincus de l'ensemble de thérapeutiques qui sont à ce jour réalisables et se cantonnent actuellement à des cas simples, conscients qu'il s'agit pour autant d'une technique d'avenir.

Concernant les omnipraticiens maintenant, sans surprise Invisalign est très largement devant ses concurrents. C'est avec Align Technology que les 2 seuls chirurgien-dentistes utilisant les gouttières travaillaient. On constate que presque la moitié des sondés n'a pas d'opinion sur ces dispositifs, ce qui semble être beaucoup trop. Qu'ils soient pour ou contre, il convient aux praticiens de se renseigner afin d'être à même de répondre aux questions et sollicitations des patients de plus en plus désireux. Fort heureusement près de 80% seraient intéressés pour se former, ils y voient pour la majorité un élargissement de leur champ d'action, et un nouvel élan à leur carrière.

On peut cependant s'interroger sur les compétences dont dispose l'omnipraticien qui se sera formé lors d'un week-end et sur sa capacité à mener à bien ce type de traitement. Car rappelons-le « primum non nocere », et à chacun son métier.

Il conviendra donc de savoir adresser le patient au spécialiste lorsque cela est nécessaire.

En 2017, Best et al (76) se sont penchés sur les différences qu'ils existaient lors d'un traitement réalisé par un orthodontiste ou par un dentiste. Les conclusions étaient les suivantes :

- Les orthodontistes avaient traité significativement plus de patients, et avaient une formation plus poussée.
- Les dentistes étaient plus disposés à traiter plus malocclusions complexes avec Invisalign, telles que les excès de recouvrement, les encombrements sévères et les malocclusions de classe II.
- Les orthodontistes étaient plus susceptibles de dire aux patients que leur occlusion était trop complexe pour Invisalign et de les traiter avec des brackets.
- Les omnipraticiens étaient également moins enclins à utiliser des élastiques inter-maxillaires et autres techniques auxiliaires, et ils avaient passé moins de temps à modifier le plan de traitement du patient sur le ClinCheck, probablement en raison d'objectifs de traitement moins élevés.

D'autres études sont bien sûr nécessaires pour conclure à une différence significative mais à la lecture de ces résultats nous ne pouvons pas être surpris.

CONCLUSION

Il est aujourd'hui indéniable de dire que les aligneurs doivent faire partie intégrante de l'arsenal thérapeutique de l'orthodontiste, puisque qu'ils constituent des outils précieux dans le traitement de l'adulte réfractaire à une orthodontie classique.

L'utilisation de forces douces et constantes grâce au SmartTrack material permet de limiter le risque de résorptions radiculaires et les technologies SmartForce et SmartStage ont elles contribué à augmenter le contrôle et la prédictibilité des mouvements.

Il est désormais admis qu'Invisalign est aussi efficace qu'un multi-bagues dans des mouvements d'ingressions pour lever une supraclusion antérieure, mais aussi pour traiter des encombrements et des diastèmes importants. Enfin les mouvements de distalisation molaire sont également permis tandis que les dérotations restent elles plus compliquées à obtenir.

On ne peut que regretter la faiblesse de la littérature concernant le traitement de malocclusions plus complexes, en effet durant ce travail nous nous sommes beaucoup appuyés sur des rapports de cas ce qui ne nous permettent pas de dégager une analyse précise et objective.

Cependant tout laisse à croire que les classes II et III peuvent être traitées à l'aide d'aligneurs, avec ou sans chirurgie puisque de nombreux praticiens le font en France et à travers le monde.

Nul doute que la technique va continuer de progresser et pourquoi pas s'imposer comme le gold standard dans quelques années. De nouvelles études prospectives seront bien évidemment nécessaires.

A l'heure actuelle nous pouvons simplement conclure que dans la mesure où leur indication est correctement posée dans le cadre d'un plan de traitement approprié, les gouttières sont une bonne alternative aux méthodes thérapeutiques conventionnelles et qu'elles constituent un espoir thérapeutique pour de nombreux patients.

BIBLIOGRAPHIE

1. Remensnyder O.

Dental Massage Device, U. S. Patent #1,691,785, Nov. 13, 1928.

2. Remensnyder O.

Orthodontic appliance U.S. Patent US2479780 août 1949.

3. Kesling HD.

The philosophy of the tooth positioning appliance. Am J Orthod 1945;31:297-304.

4. Nahoum HI.

The vacuum formed dental contour appliance. New York State Dent J 1964;9:385-390.

5. Ponitz RJ.

Invisible retainers. Am J Orthod 1971;59: 266-272.

6. McNamara JA Jr, Kramer KL, Juenker JP.

Invisible retainers. J Clin Orthod 1985;19:570-578.

7. McNamara JA Jr, Brudon WL.

Invisible retainers and aligners. In J.A. McNamara Jr. and W.L. Brudon : Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. Ann Arbor : Needham Press, 2001:475-486.

8. Sheridan JJ.

Air-rotor stripping. J Clin Orthod. 1985;19(1):43-59.

9. Sheridan JJ, LeDoux W, McMinn R.

Essix appliances: minor tooth movement with divots and windows. J Clin Orthod 1994;28(11):659-663.

10. Laperrouzaz C.

Traitement orthodontique par gouttière : mise en œuvre, indications, limites. Thèse d'exercice : Lyon. UFR d'odontologie, 2012.

11. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, et coll.

How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2009;135:27-35.

12. Idealsmile

<http://idealsmile.gac-ortho.com> : Création de forces.

13. Bouchez R.

Les traitements orthodontiques invisalign®. Paris : Quintessence International, 2009.

14. Philibert A.

<http://ortho-fablab.com>

15. Invisalign

<http://www.invisalign.fr>

16. Schupp W, Haubrich J.

Les aligneurs en orthodontie : Diagnostoc, biomécanique, planification et traitements. United Kingdom : Quintessence publishing, 2016.

17. Bräscher AC.

Patient survey on Invisalign® treatment compared the SmartTrack® material to the previous aligner material. *J Orofac Orthop* 2016;77: 416-432.

18. Barone S.

Computational design and engineering of polymeric orthodontic aligners. *Int J Numer Method Biomed Eng* 2017;33(8):e2839.

19. Hellak A.

Approximale Schmelzreduktion und ihre Nebenwirkungen. *Quintessenz* 2012;63(12):1595-1602.

20. Lapenaite E.

Interproximal enamel reduction as a part of orthodontic treatment. *Stomatologija* 2014;16(1):19-24.

21. Bollen AM, Huang G, King G, et coll.

Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 1: Ability to complete treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;124(5):496-501.

22. Malik O, McMullin, Waring D.

Invisible orthodontics. Part 1: Invisalign. *Dent Update* 2013;40(3):203–215.

23. Liu CL, Sun WT, Liao W, Lu WX.

Colour stabilities of three types of orthodontic clear aligners exposed to staining agents. *Int J Oral Sci* 2016;8(4):246-253.

24. Miethke RR, Vogt S.

A comparison of the periodontal health of patients during treatment with the Invisalign system and with fixed orthodontic appliances. *J Orofac Orthocop* 2005;66(3):219-29.

25. Azaripour A, Weusmann J, Mahmoodi B, Peppas.

Braces versus Invisalign®: gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study. *BMC Oral Health* 2015;15:69.

26. Boersma JG, Van Der Veen MH.

Caries prevalence measured with QLF after treatment with fixed orthodontic appliances: influencing factors. *Caries Res* 2005;39(1):41-7.

27. Eliades T, Pratsinis H, Athanasiou AE, Eliades G.

Cytotoxicity and estrogenicity of Invisalign appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136(1):100-3.

28. Gursoy UK, Sokucu O, Uitto VJ.

The role of nickel accumulation and epithelial cell proliferation in orthodontic treatment-induced gingival overgrowth. *Eur J Orthod* 2007;29(6):555-8.

29. Iglesias-Linares A, Sonnenberg B, Solano B.

Orthodontically induced external apical root resorption in patients treated with fixed appliances vs removable aligners. *Angle Orthod* 2017;87(1):3-10.

30. Gay G, Ravera S, Castroflorio T.

Root resorption during orthodontic treatment with Invisalign®: a radiometric study. *Progr Orthod* 2017; 18:12.

31. Masi-Damois C.

Comparaison de la perception de la douleur entre le traitement orthodontique avec Invisalign® et le traitement avec fils et boîtiers fixes. Mémoire post doctoral en médecine dentaire option orthodontie : université de Montréal, 2015.

32. Xu F, Tang GH.

The impact of personality traits on adolescents' adaptation and compliance to clear retainers. Shanghai Kou Qiang Yi Xue 2017;26 :98-101.

33. Pavoni C, Lione R, Laganà G, Cozza P.

Self-ligating versus Invisalign: analysis of dento-alveolar effects. Ann Stomatol 2011;2(1-2):23.

34. Buschang P, Shaw S, Ross M, et coll.

Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces. Angle Orthod 2014 ; 84(3):391-396.

35. Zheng M, Liu R, Ni Z, Yu Z.

Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: A systematic review and meta-analysis. Orthod Craniofac Res 2017;20(3):127-133.

36. Uribe F, Padala S, Allareddy V, Nanda R.

Patients, parents, and orthodontists perceptions of the need for and costs of additional procedures to reduce treatment time. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2014;145(4 Suppl):S65-S73.

37. Kole H.

Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1959;12:277– 288.

38. Wilcko WM, Wilcko MT, Bouquot JE, Ferguson DJ.

Accelerated orthodontics with alveolar reshaping. J Ortho Pract 2000;10:63–70.

39. Dibart S.

Tissue response during Piezocision-assisted tooth movement: a histological study in rats. Eur J Orthod 2014;36(4):457-464.

40. Keser EI, Dibar S.

Piezocision assisted Invisalign treatment. Compend Contin Educ Dent. 2011;32(2):46-8, 50-1.

41. Diaspro A, Castroflorio T, Parrini S, et coll.

Invisalign: a novel surgical technique to integrate corticotomies in the Invisalign® orthodontic treatment. J Dent Health Oral Disord Ther 2016;5(5): 00166.

42. Owen AH.

Accelerated Invisalign treatment. J Clin Orthod 2001;35(6): 381-385.

43. Acceledent.

<https://acceledent.com/>

44. Katchooi M, Cohanin B, Tai S, et coll.

Effect of supplemental vibration on orthodontic treatment with aligners: A randomized trial. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2018;153(3):336-346.

45. Orthopulse.

<http://www.orthopulse.com/>

46. **Ojima K, Dan C, Kumagai Y, Schupp W.**
Invisalign treatment accelerated by photobiomodulation. *J Clin Orthod.* 2016;50(5):309-17; quiz 319-20.
47. **Dickerson TE.**
Invisalign with photobiomodulation : optimizing tooth movement and treatment efficacy with a novel self-assessment algorithm. *J Clin Orthod* 2017;51(03):157–65.
48. **Kau CH, Kantarci P.**
Photobiomodulation accelerates orthodontic alignment in the early phase of treatment. *Prog. Orthod.* 2013;14:30.
49. **Shaughnessy T, Kantarci A, Kau CH, et coll.**
Intra-oral photobiomodulation-induced orthodontic tooth alignment : a preliminary study. *BMC Oral Health.* 2016;16:3.
50. **Lagravère MO, Flores-Mir C.**
The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners: a systematic review. *J Am Dent Assoc.* 2005;136:1724–1729.
51. **Cooper-Kazaz R, Ivgi I, Canetti L, et coll.**
The impact of personality on adult patients' adjustability to orthodontic appliances. *Angle Orthod* 2013;83(1):76-82.
52. **Boyd RL, Miller RJ, Vlaskalic V.**
The Invisalign system in adult orthodontics: mild crowding and space closure cases. *J Clin Orthod* 2000;34(4):203-212.
53. **Duncan L, Piedade L, Lekic M, et coll.**
Changes in mandibular incisor position and arch form resulting from Invisalign correction of the crowded dentition treated nonextraction. *Angle Orthod* 2016 ;86(4):577-583.
54. **Hennessy J, Garvey T, Al-Awadhi E.**
A randomized clinical trial comparing mandibular incisor proclination produced by fixed labial appliances and clear aligners. *Angle Orthod* 2016;86(5):706-712.
55. **Zawawi H.**
Orthodontic treatment of a mandibular incisor extraction case with Invisalign. *Case Rep Dent* 2014 ;2014:657657.
56. **Khosravi R, Cohanim B, Hujoel P, et coll.**
Management of overbite with the Invisalign appliance. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2017;151(4):691-699.
57. **Garnett BS, Mahood K, Nguyen M, Boyd R.**
Cephalometric comparison of adult open bite treatment using clear aligners and fixed appliances. *Angle Orthod* Oct 2018. [Epub ahead of print]
58. **Giancotti A, Garino F, Gianluca M.**
Use of clear aligners in open bite cases : an unexpected treatment option. *J Orthod* 2017;44(2):114-125.

59. **Reichert I, Figel P, Winchester L.**

Orthodontic treatment of anterior open bite : a review article – is surgery always necessary ? Oral Maxillofac 2014;18(3):271-7.

60. **Giancotti A, Mampieri G, Greco M.**

Correction of deep bite in adults using the Invisalign system. J Clin Orthod. 2008;42(12):719-26; quiz 728.

61. **Daher S.**

Techniques for Class II Correction with Invisalign and Elastics. <http://invisalign.com>

62. **Ravera S, Castroflorio T, Garino F, et coll.**

Maxillary molar distalization with aligners in adult patients : a multicenter retrospective study. Progr Orthod 2016;17:12.

63. **Schupp W, Haubrich J, Neumann I.**

Class II correction with the Invisalign system. J Clin Orthod. 2010;44(1):28-35.

64. **Colville CD.**

Carrière distalizer and Invisalign combo for Class II treatment. Invisalign Insights, Sept. 2012. <http://aligntechinstitute.com>.

65. **Bowman SJ, Celenza F, Sparaga J, et coll.**

Creative adjuncts for clear aligners, part 1 : class II treatment. J Clin Orthod. 2015;49(2):83-94.

66. **Castroflorio T, Garino F, Lazzaro A, Debernardi C.**

Upper-incisor root control with Invisalign appliances. J Clin Orthod 2013;47(6):346-51; quiz 387.

67. **Womack WR, Day RH.**

Surgical-orthodontic treatment using the Invisalign system. J Clin Orthod. 2008;42(4):237-45.

68. **Kankam HKN., Gupta H., Sawh-Martinez R, Steinbacher DM**

Segmental Multiple-Jaw Surgery without Orthodontia. Plast Reconstr Surg 2018;142(1):181–184.

69. **Yamaguchi M, Inami T, Ito K, Kasai K, Tanimoto Y.**

Mini-implants in the anchorage armamentarium : new paradigms in the orthodontics. Int J Biomater 2012;2012:394121.

70. **Needham R, Waring DT, Malik OH.**

Invisalign treatment of class III malocclusion with lower incisor extraction. J Clin Orthod. 2015;49(7):429-41.

71. **Canut JA.**

Mandibular incisor extraction : Indications and long term evaluation. Eur J Orthod 1996;18(5):485-489.

72. **Boyd RL.**

Surgical-orthodontic treatment of two skeletal Class III patients with Invisalign and fixed appliances. J Clin Orthod 2005;39(4):245-58.

73. **Marcuzzi E, Galassini G, Procopio O et al.**

Surgical-Invisalign treatment of a patient with Class III malocclusion and multiple missing teeth. J Clin Orthod 2010;44(6):377-84.

74. Chan E, Darendeliler MA.

The Invisalign® appliance today: A thinking person's orthodontic appliance. *Semin Orthod* 2017;23(1):12–64.

75. Robitaille P.

Traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique avec Invisalign® : revue de la durée de traitement et des résultats obtenus. Mémoire post doctoral en médecine dentaire, option orthodontie, université de Montréal, 2016.

76. Best AD., Shroff B, Carrico CK, Lindauer JJ.

Treatment management between orthodontists and general practitioners performing clear aligner therapy. *Angle Orthod* 2017;87(3):432–439.

ANNEXES

Questionnaires

Les gouttières esthétiques en orthodontie : état des lieux

Question 1

Vous êtes :

- Praticien
 Interne
[🔄 décocher](#)
-

Question 2

Que(s) aligneurs connaissez-vous ?

- OrthoCaps
 Invisalign
 E-aligner
 DentoSmile
 Air Nivol
 Autre :
-

Question 3

Les utilisez-vous dans votre pratique quotidienne ?

- Oui
 Non
[🔄 décocher](#)
-

Question 4

Si oui, la ou lesquelles ?

Question 5

Depuis quand traitez-vous vos patients avec ces dispositifs ?

- Moins d'un an
 Moins de 5 ans
 Moins de 10 ans
 Plus de 10 ans
[🔄 décocher](#)
-

Question 6

Pour quelles malocclusions les trouvez-vous adaptés ?

Question 7

Au contraire, pour lesquelles trouvez-vous les aligneurs inadaptés/inefficaces ?

Question 8

Pour quelle patientèle les privilégiez-vous ?

- Adolescents
 Adultes
 Les deux
[🔄 décocher](#)

Question 9

Notez les principaux avantages, 1 étant le score minimum et 5 le maximum.

- | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| Rapidité et simplicité | <input type="radio"/> | décocher |
| Rentabilité pour le praticien | <input type="radio"/> | décocher |
| Esthétisme | <input type="radio"/> | décocher |
| Confort | <input type="radio"/> | décocher |
| Efficacité | <input type="radio"/> | décocher |
-

Question 10

Notez cette fois les principaux inconvénients

- | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| Coût pour le patient | <input type="radio"/> | décocher |
| Récidive | <input type="radio"/> | décocher |
| Manque de contrôle | <input type="radio"/> | décocher |
| Manque de recul clinique | <input type="radio"/> | décocher |
| Nécessité d'avoir recours à des auxiliaires | <input type="radio"/> | décocher |
-

Question 11

Etes-vous satisfait des résultats obtenus en fin de traitement ?

- Jamais
 Rarement
 Plutôt souvent
 Très souvent
[décocher](#)
-

Question 12

Selon vous, les aligneurs (plusieurs choix possibles) :

- Ont un avenir certain en ODF
 Ne sont qu'une thérapeutique limitée à des cas simples
 Doivent être améliorés pour élargir leurs indications
 Permettent actuellement résoudre un large panel de situations cliniques
-

Les aligneurs orthodontiques et les omnipraticiens

Questionnaire destiné à appréhender l'image des aligneurs auprès des chirurgien-dentistes.

Question 1

Connaissez-vous les aligneurs destinés à l'orthodontie ?

- Oui
 Non
[décocher](#)
-

Question 2

Si oui, quelle(s) marque(s) pouvez-vous citer ?

Question 3

Quelle image en percevez-vous ?

- Très bonne
 Bonne
 Mauvaise
 Je n'ai pas d'avis
[décocher](#)
-

Question 4

Parlez-vous de ces dispositifs à vos patients ?

- Oui
 Non
[décocher](#)
-

Question 5

Vos patients adultes sont-ils demandeurs ?

- Oui
 Non
[décocher](#)
-

Question 6

Saviez-vous qu'il est possible pour les omnipraticiens de pratiquer cette orthodontie ?

- Oui
 Non
[décocher](#)
-

Question 7

Souhaiteriez-vous vous former et proposer ce traitement à vos patients ?

- Oui
 Non
[décocher](#)
-

Question 8

Quel(s) intérêts voyez-vous dans ces gouttières ?

- Financier
 Proposer aux patients une prise en charge globale
 Diversifier votre activité
 Autre
-

Question 9

Selon vous, quelles malocclusions peuvent être traitées ?

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Set-up et positionneur de Kesling de 1945, *dental Press journal of Othodontics*

Figure 2 : Système Essix, *H.Babacan Journal Of Orthodontics, Vol 32, 2005, 229-234*

Figure 3 : Nombre d'articles sur PubMed fin 2017, *pubmed*

Figure 4 : Poinçons et fenêtres dans le concept IdealSmile, *sirona.com*

Figure 5 : Système ClearCaps, *dentalisfuturis.com*

Figure 6 : Caméra optique 3Shape, *idatasearch.com*

Figure 7 : Logiciel Cerec-Ortho SW, *sirona.com*

Figure 8 : Scanner et empreinte optique iTero, *itero.com*

Figure 9 : Interface de l'application Invisalign Photo Uploader, *itunes.com*

Figure 10 : Languette d'éruption Invisalign Teen, guide de démarrage rapide Invisalign

Figure 11 : Compensateur d'éruption Invisalign Teen, guide de démarrage rapide Invisalign

Figures 12 et 13 : Interface du ClinCheck

Figure 14 : Innovation SmartForce, *invisalign.com*

Figure 15 : Innovation SmartTrack, *invisalign.com*

Figure 16 : SmartStage Technology, *invisalign.com*

Figures 17,18,19 : Innovation G7, *invisalign.com*

Figure 20 : Precision Cuts, *invisalign.com*

Figure 21 : Graphique comparant la prédictibilité du mouvement en fonction du temps. *invisalign.com*

Figure 22 : Invisalign Retainer Vivera, *invisalign.com*

Figure 23 : Situation clinique avant traitement, *Keser EI, Dibar S.*

Piezocision assisted Invisalign treatment. Compend Contin Educ Dent. 2011 Mar;32(2):46-8, 50-1

Figure 24 : Piezocision associée à Invisalign, *Keser EI, Dibar S.*

Piezocision assisted Invisalign treatment. Compend Contin Educ Dent. 2011 Mar;32(2):46-8, 50-1

Figure 25 : Situation finale avec alignement inter-incisif, *Keser EI, Dibar S.*

Piezocision assisted Invisalign treatment. Compend Contin Educ Dent. 2011 Mar;32(2):46-8, 50-1

Figure 26 : Vue endo-buccal avant et après traitement, *Diaspro A, Castroflorio T, Parrini S, Rossini G, Ravera Incisalign: A Novel Surgical Technique to Integrate Corticotomies in the Invisalign® Orthodontic Treatment. J Dent Health Oral Disord Ther 2016;5(5): 00166*

Figure 27 : Corticotomie, *Diaspro A, Castroflorio T, Parrini S, Rossini G, Ravera S Incisalign: A Novel Surgical Technique to Integrate Corticotomies in the Invisalign® Orthodontic Treatment. J Dent Health Oral Disord Ther 2016;5(5): 00166*

Figure 28 : Dispositif AcceleDent® aura, *acceleident.com*

Figure 29 : Embout USB, *acceleident.com*

Figure 30 : Dispositif LED OrthoPulse, *orthopulse.com*

Figure 31 : Cas clinique illustrant le traitement d'une classe II par aligneur et élastiques, *Ravera S, Castroflorio T, Garino F, Daher S, Cugliari, Deregibus A Maxillary molar distalization with aligners in adult patients : a multicenter retrospective study. Progress in Orthodontics 2016;17:12*

Figure 32 : Vis d'ancrage osseuses et l'attelle finale pour établir l'occlusion prévue et la position maxillomandibulaire, *Kankam HKN., Gupta H., Sawh-Martinez R, Steinbacher DM Segmental Multiple-Jaw Surgery without Orthodontia. Plast Reconstr Surg 142(1), 181–184.*

Figure 33 : correction d'une classe II par chirurgie et Invisalign, *Kankam HKN., Gupta H., Sawh-Martinez R, Steinbacher DM Segmental Multiple-Jaw Surgery without Orthodontia. Plast Reconstr Surg 142(1), 181–184.*

Figure 34 : vue endobuccale initiale des secteurs 1 et 4, *invisaligngallery.com*

Figure 35 : vue endo buccale initiale de face, *invisaligngallery.com*

Figure 36 : vue endo buccale initiale des secteurs 2 et 3, *invisaligngallery.com*

Figure 37 : situation en fin de traitement des secteurs 1 et 4, *invisaligngallery.com*

Figure 38 : situation en fin de traitement de face, *invisaligngallery.com*

Figure 39 : situation en fin de traitement des secteurs 2 et 3, *invisaligngallery.com*

Figure 40 : comparaison du panoramique et de la TRP en début et en fin de traitement, *invisaligngallery.com*

BUFFAT (Maxence) – Les gouttières esthétiques en orthodontie : entre fiction thérapeutique et réalité clinique, état des lieux. 71f ; ill ; tabl ; 76 ref ; 30cm (Thèse : Chir. Dent : Nantes : 2019)

Résumé : Les aligneurs sont de plus en plus plébiscités par les patients, demandeurs d'une orthodontie confortable et esthétique. Ces dispositifs datant du début des années 2000 connaissent un essor fulgurant depuis quelques années grâce à des innovations technologiques et pratiques.

En effet la simplification de la modélisation du traitement grâce à des logiciels 3D comme le ClinCheck permettent au praticien et au patient de visualiser le résultat final escompté, constituant ainsi un outil pédagogique très intéressant. Il a été démontré que ces gouttières étaient aussi efficaces qu'une thérapeutique classique sur des classes I DDM, avec alignement et nivellement des arcades, mais aussi sur l'ingression incisive et la distalisation molaire.

En France et à travers le monde, des praticiens les utilisent avec succès pour le traitement de classe II et III avec ou sans chirurgie orthognatique, cependant la littérature ne recense à ce jour aucune étude scientifique basée sur un niveau de preuve suffisant pour que nous puissions systématiser ces résultats.

Rubrique de classement : Orthopédie dento-faciale

Mots clés MeSH :

- Aligneurs / Aligner
- Orthodontie / Orthodontics
- Esthétique / Esthetics

Jury :

Président : Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ

Assesseur : Monsieur le Docteur Alexis GAUDIN

Assesseur : Monsieur le Docteur Davy AUBEUX

Directeur : Madame le Docteur Madline CUNY

Adresses de l'auteur :

maxence.buffat@gmail.com 45 chemin du Trésor 17120 Semussac