



**HAL**  
open science

# Étude de l'efficacité des mouvements par aligneurs Invisalign® en 2020

Nicolas Marsil

► **To cite this version:**

Nicolas Marsil. Étude de l'efficacité des mouvements par aligneurs Invisalign® en 2020. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03598316

**HAL Id: dumas-03598316**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03598316v1>**

Submitted on 4 Mar 2022

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

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

UNIVERSITÉ COTE D'AZUR  
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE  
5, rue du 22<sup>e</sup> BCA, 06300 Nice

# ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ DES MOUVEMENTS PAR ALIGNEURS INVISALIGN® EN 2020

Année 2021

Thèse n°42-57-21-09

## THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant  
la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nice  
Le 11 Février 2021 par

**Monsieur Nicolas MARSIL**

Né le 08 Avril 1995 à Lyon  
Pour obtenir le grade de :

**DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE (Diplôme d'État)**

---

Examineurs :

Madame la Professeur Laurence LUPI  
Madame la Professeur Armelle MANIERE-EZVAN  
Madame la Docteur Clara JOSEPH  
Madame la Docteur Arlette OUEISS  
Madame la Professeur Carole CHARAVET

Président du jury  
Directrice de thèse  
Assesseure  
Assesseure  
Invitée

---

## CORPS ENSEIGNANT

### 56<sup>ème</sup> section : DEVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PREVENTION

#### **Sous-section 01 : ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE ET ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE**

Professeur des Universités : Mme MANIERE-EZVAN Armelle  
Professeur des Universités : Mme MULLER-BOLLA Michèle  
Maître de Conférences des Universités : Mme JOSEPH Clara  
Professeur des Universités Associée : Mme CHARAVET Carole  
Maître de Conférences des Universités Associé : Mme OUEISS Arlette  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme AIEM TORT-ALVAREZ Elody  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mr CAMIA Julien  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme MASUCCI Caterina

#### **Sous-section 02 : PREVENTION, EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE, ODONTOLOGIE LEGALE**

Professeur des Universités : Mme LUPI Laurence  
Maître de Conférences des Universités Associé : Mme BORSA Leslie  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme FRENDO Marie  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme MERIGO Elisabetta

### 57<sup>ème</sup> section : CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE

#### **Sous-section 01 : CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE**

Professeur des Universités : Mme DRIDI Sophie Myriam  
Professeur des Universités : Mme PRECHEUR-SABLAYROLLES Isabelle  
Maître de Conférences des Universités : Mr BENHAMOU Yordan  
Maître de Conférences des Universités : Mr COCHAIS Patrice  
Maître de Conférences des Universités : Mme RAYBAUD Hélène  
Maître de Conférences des Universités : Mme VINCENT-BUGNAS Séverine  
Maître de Conférences des Universités : Mme VOHA Christine  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme NAMAN Eve  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mr CHARBIT Mathieu  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme FISTES Elene-Maria

### 58<sup>ème</sup> section : REHABILITATION ORALE

#### **Sous-section 01 : DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATERIAUX**

Professeur des Universités : Mme BERTRAND Marie-France  
Professeur des Universités : Mr BOLLA Marc  
Professeur des Universités : Mme BRULAT-BOUCHARD Nathalie  
Professeur des Universités : Mme LASSAUZAY Claire  
Professeur des Universités : Mr MEDIONI Etienne  
Professeur des Universités Emérite : Mr ROCCA Jean-Paul  
Maître de Conférences des Universités : Mr ALLARD Yves  
Maître de Conférences des Universités : Mr CEINOS Romain  
Maître de Conférences des Universités : Mme EHRMANN Elodie  
Maître de Conférences des Universités : Mr LAPLANCHE Olivier  
Maître de Conférences des Universités : Mr LEFORESTIER Eric  
Maître de Conférences des Universités : Mme POUYSSEGUR-ROUGIER Valérie  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme ABID Sarah  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme BECQUART Mathilde  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme DEMARTY Laure  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme AZAN Cindy  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme GROSSI Vanina  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mr LAMBERT Gary  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mr LONJON Jean-Baptiste  
Assistant Hospitalier Universitaire : Mr PARNOT Maximilien

# Remerciements

---

**Madame le Professeur Laurence LUPI,**

**Présidente du Jury,**

Professeur des Universités,

Praticien hospitalier,

Département de Santé Publique,

*C'est un honneur de vous savoir présider mon jury. Je retiens votre enthousiasme, votre bonne humeur et votre bienveillance auprès des étudiants. Soyez assurée de mon profond respect et de mes sincères remerciements pour tout ce que vous m'avez apporté. J'espère que ce travail saura refléter ma profonde reconnaissance.*

*Merçi*

---

**Madame le Professeur Armelle MANIÈRE,**

**Directrice de thèse,**

Professeur des Universités,

Praticien hospitalier,

Département d'Orthopédie Dento-Faciale,

*Merci pour avoir accompagné jusqu'au bout, pour m'avoir fait confiance et m'avoir dirigé dans ce travail. Votre envie de partager vos connaissances et votre bonne humeur sont un réel plaisir quand il s'agit de travailler ensemble et j'ai su m'enrichir de vos précieux conseils tout au long de la rédaction de cette thèse.*

*Veillez y trouver l'expression de ma gratitude, en espérant qu'elle vous fournisse pleine satisfaction.*

*Merci*

---

**Madame le Docteur Clara JOSEPH,**

**Assesseure,**

Maître de Conférences des Universités,

Praticien hospitalier,

Département d'Odontologie pédiatrique,

*Merci de me faire l'honneur de siéger dans ce jury. Votre rire, votre bonne humeur, votre énergie sont des qualités que j'apprécie tout particulièrement chez vous. Tous les moments passés avec vous sont un plaisir à partager.*

*À travers ce travail, veuillez trouver l'expression de mon sincère respect.*

*Merci*

---

**Madame le Docteur Arlette OUEISS,**

**Assesseure,**

Maître de conférences des Universités Associé,

Praticien attachée,

Département d'Orthopédie Dento-Faciale,

*Merci pour toute l'aide que vous avez pu m'apporter dans mes études jusque dans ce travail. J'espère que cette thèse sera à la hauteur de vos attentes, et que vous saurez y retrouver la marque d'un profond respect.*

*Soyez assurée de ma plus grande sympathie.*

*Merci*

---

**Madame le Professeur Carole CHARAVET,**

**Membre invitée,**

Professeur des Universités Associé,

Praticien attachée,

Département d'Orthopédie Dento-Faciale,

*C'est avec grand plaisir que je vous compte parmi les membres de mon jury.  
J'espère pouvoir partager vos connaissances et profiter de votre sympathie  
prochainement. Que ce travail vous offre la preuve d'une considération  
distinguée.*

*Merci*

À Valérie,

*Tu as été ma préférée,  
Et je pense à toi bien souvent,  
Car ton alacrité a ensoleillé mes journées,  
Tout comme tu continues de le faire depuis le ciel coruscant.*

# Sommaire

---

Corps enseignant.....	I	2. Mouvements obtenus par aligneurs : Analyse de la littérature.....	17
Remerciements.....	II	Synthèse.....	29
Sommaire.....	VIII	Efficacité des mouvements.....	29
Abréviations.....	IX	Discussion sur l'analyse.....	32
Introduction.....	1	Méthode de superposition.....	33
		Tableau et graphique de l'évolution des mouvements.....	34
<b>1. Système Invisalign.....</b>	<b>2</b>	<b>3. Cas clinique.....</b>	<b>35</b>
<b>I. Présentation du Système Invisalign®.....</b>	<b>2</b>	<b>I. Présentation du cas.....</b>	<b>35</b>
<b>II. Histoire d'Invisalign.....</b>	<b>3</b>	<b>II. Analyse du cas.....</b>	<b>36</b>
<b>III. Protocole clinique de réalisation.....</b>	<b>4</b>	Examens.....	36
Prescription du traitement.....	5	Fin de traitement.....	42
Consultations suivantes.....	7	<b>III. Proposition d'une méthode de superposition des arcades dentaires.....</b>	<b>44</b>
<b>IV. Les Aligneurs.....</b>	<b>8</b>	Conclusion.....	52
Avantages / Inconvénients.....	8		
Indications / Contre-indications.....	8		
Évolutions de la technique.....	9		
<b>V. Temps de port.....</b>	<b>12</b>		
<b>VI. Éléments destinés à l'amélioration des mouvements.....</b>	<b>13</b>	<b>Annexes.....</b>	<b>53</b>
		Bibliographie.....	53
		Table des figures.....	56

## Abréviations

ABO : American Board of Orthodontic

ANL : Angle Naso-Labial

DCM : Distance Cervico-Mentonnière

DI : Discrepancy Index

FACC : Facial Axis of Clinical Crown

HEIF : Hauteur de l'Étage Inférieur de la Face

MGS : Model Grading System

NS : Non Significatif

PAR Index : Peer Assesment Rating Index

RIP : Réduction Inter-Proximale

SLM : Sillon Labio-Mentonnier

# Introduction

---

Les traitements par aligneurs Invisalign® sont depuis une quinzaine d'années une nouvelle option dans l'arsenal thérapeutique orthodontique. Leurs nombreux avantages : invisibilité, confortabilité, facilité d'utilisation, ajoutés à l'engouement général croissant pour l'esthétique dentaire, ont permis d'attirer un nombre de patients de plus en plus important, surtout chez les adultes.

Au cours du temps et avec l'utilisation grandissante de ce système, une remarque des orthodontistes est qu'une différence entre résultat et ClinCheck est souvent observable en fin de traitement. Alors que la société Align Technology prétend que 20 à 30% des patients auront besoin d'une correction ou d'un ajustement à mi-parcours pour atteindre les objectifs de traitement, les orthodontistes rapportent que ce chiffre s'élèverait en réalité à 70-80%<sup>1</sup>.

Pour apprécier le réel potentiel du système à déplacer les dents, il faut se pencher sur l'efficacité des mouvements dentaires qui seront réalisés, certains étant plus difficiles que d'autres. *Align Technology* développe continuellement de nouvelles fonctionnalités visant à améliorer l'efficacité des déplacements dentaires et la qualité des traitements. Ainsi, l'étude de l'efficacité des mouvements par aligneurs permettra au praticien de mieux appréhender la réalisation du ClinCheck, et anticiper les erreurs afin d'améliorer la prédictibilité du traitement.

C'est pourquoi nous proposons dans cette étude une analyse de la littérature concernant l'efficacité des mouvements par aligneurs, ainsi qu'une méthode de superposition entre modèles obtenus en fin de traitement et modèle prédit par le ClinCheck. À l'aide de la superposition et des différences de mesures obtenues, nous pourrions objectiver les résultats réellement obtenus.

## 1.1 | Présentation du système Invisalign®

Invisalign est une technique d'orthodontie, déposée par la société **Align Technology** en 1997 et qui a commencé à se développer en Europe à partir de 2010.

Cette technique repose sur l'application **22h sur 24h** de différents jeux de gouttières occlusales transparentes en plastique (Fig.1), changées toutes les 1 à 2 semaines.

Les mouvements provoqués par cette succession de gouttières, ou aligneurs, conduisent à la correction des anomalies dentaires et occlusales.

Cela peut constituer une alternative intéressante aux traitements par multibagues, car elle se révèle **plus esthétique** par l'absence de brackets et de fils, **moins douloureuse**, **moins inconfortable**<sup>2</sup>, moins invasive. Elle permet aussi une amélioration de l'hygiène générale<sup>3,4</sup>, de la satisfaction du patient<sup>4</sup> et provoque moins de résorption radiculaire<sup>5</sup>. Cependant, elle n'est pas applicable dans toutes les situations cliniques, et demande parfois des accessoires pour aider au déplacement dentaire.

Cette technique est **en pleine évolution** depuis ses débuts, passant de traitements d'anomalies dentaires simples associées à des malocclusions de Classe I, à des cas de Classe II, III ... avec extractions, asymétrie et préparation à des cas combinés orthodontie-chirurgie orthognatique.

En 2018, plus de 6 millions de patients ont suivi un traitement Invisalign dans le monde.

Cependant la réussite du traitement dépendra de plusieurs facteurs : initialement par le travail du praticien à l'établissement de la fiche du patient, du diagnostic, des objectifs et des moyens souhaités, de la validation ou demande d'amélioration du ClinCheck, puis des moyens techniques mis en place par le praticien en cours de traitement et enfin de la compliance du patient.



Fig.1. Gouttière Invisalign® maxillaire

## 1.II | Histoire d'Invisalign

L'histoire des aligneurs débute en **1945** avec Kesling<sup>6</sup>, qui introduit cette méthode tout d'abord en tant qu'étape finale après un traitement orthodontique, pour des finitions ou des mouvements minimes.

Sheridan et al. (**1993**) ont ensuite développé les aligneurs Essix, impliquant une réduction interproximale pour aligner les dents légèrement encombrées. Mais cette technique se révèle chronophage et coûteuse car pour chaque paire d'aligneurs elle nécessite une nouvelle paire de modèles.

En **1997**, la technologie informatique permet à **Zia Chisti** et **Kelsey Wirth** de développer un logiciel permettant la numérisation et le traitement de moulages réalisés à partir d'empreintes très précises ; Invisalign est né<sup>7</sup>.

Fig.2. Deux techniques de traitement

L'arcade du patient est reproduite sous la forme d'un modèle 3D qui sera corrigé informatiquement selon le plan de traitement élaboré par les logiciels Invisalign (utilisant l'Intelligence Artificielle) et validé par l'orthodontiste : le **ClinCheck**.



Celui-ci permet de visualiser la correction des anomalies intra et inter arcades, mouvement par mouvement, aligneur par aligneur. Une fois validé, les aligneurs sont fabriqués et expédiés. Le traitement peut commencer. Une deuxième étape est parfois nécessaire, lorsque les corrections n'ont pas été entièrement obtenues : un deuxième jeu d'empreintes puis un deuxième ClinCheck sera établi et validé, et un deuxième jeu d'aligneurs sera réalisé.

En 2019, lors de l'AMS Summit (American Manufacturing Strategies), Dunham (cité par Saunders<sup>8</sup>, 2019) énonce (dans sa présentation des voies de développement de l'impression 3D dans le secteur dentaire) qu'«Align Technology a doublé son chiffre d'affaires de 2013 à 2017 et a augmenté son volume quotidien d'impression d'aligneurs de 45% au cours de la dernière année seulement. Elle fabrique environ **50 millions d'aligneurs 3D par an**, dont certains pour d'autres entreprises.».

Aujourd'hui, d'autres sociétés proposent également des traitements selon la même technique :

- Biotech Dental (Smilers®)
- Scheu-Dental (CA® Clear Aligner)
- Orthocaps (TwinAligner®)
- Straumann (ClearCorrect®)
- Angelalign (Angelalign Pro®)
- ClearCaps (ClearCaps®)
- Made in Labs (My Ligner®)
- Ormco (Spark®)

### 1.III | Protocole clinique de réalisation

La firme Invisalign propose une gamme de traitements :

- ✓ « **Go** » dits simples (de 5 à 5, sans prise en charge des molaires, sans anomalies sagittales de Classe II ou III, jusqu'à 20 aligneurs et 24 mois)
- ✓ « **Full** », réservée aux orthodontistes et nécessitant une maîtrise de la technique (toute l'arcade prise en charge, sans limite d'aligneurs ni de temps).

La prise en charge d'un patient lors d'un traitement d'orthodontie avec Invisalign est la suivante :

#### **1<sup>er</sup> rendez-vous :**

- Consultation orthodontique classique, avec diagnostic clinique et présentation de la possibilité de traitement par aligneurs.

#### **2<sup>ème</sup> rendez-vous :**

- Anamnèse, examen clinique du patient
- Recueil des données : prise de photographies, empreintes numériques des arcades, radiographies pour analyse et synthèse.

#### **3<sup>ème</sup> rendez-vous :**

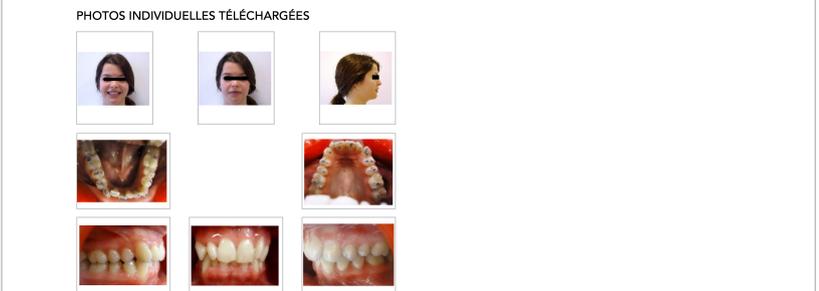
- Présentation de la synthèse diagnostique.
- Explication au patient du déroulement du traitement et présentation des devis.
- Élaboration de la prescription (Fig.3) par le praticien.



Invisalign Full

PRESCRIPTION

ADRESSE DE FACTURATION	NICE Cedex 1, 06003 FR
ADRESSE DE LIVRAISON	Hopital St Roch service odontologie
MATÉRIAUX D'ALIGNER : SmartTrack	NICE, 06000 FR
ARCADE(S) À TRAITER AVEC LES ALIGNERS INVISALIGN	Les deux
RESTRICTIONS DES MOUVEMENTS DENTAIRES	Aucun (déplacer toutes les dents)
TAQUETS	Placer les taquets comme suit
RAPPORT A-P	DROITE: Correction en Classe I (canine et molaire) GAUCHE: Correction en Classe I (canine et molaire) Options mouvement dentaire: - Simulation de Correction Classe II/III avec precision cuts - Distalisation avec precision cuts
SURPLOMB	Montrer le surplomb créé après l'alignement
RECouvreMENT	Corriger la supraclusion Ingression des dents antérieures uniquement: Maxillaire
RAMPES D'OCCLUSION	Aucun
MILIEU	Améliorer les milieux par RIP: - Mandibulaire à gauche du patient
ARTICULÉ CROISÉ POSTÉRIEUR	Ne pas corriger
ESPACEMENT & ENCOMBREMENT (DDM)	
ESPACEMENT	Laisser des espaces spécifiques entre: Dent(s) # 6-7: 1, 10-11: 1
ENCOMBREMENT	Haut Expansion Si nécessaire Vestibuloversion En premier RIP-Antérieur Si nécessaire RIP-Postérieur droit Aucune RIP-Postérieur gauche Aucune Bas Expansion Si nécessaire Vestibuloversion En premier RIP-Antérieur Si nécessaire RIP-Postérieur droit Aucune RIP-Postérieur gauche Aucune
EXTRACTIONS	Aucune
INSTRUCTIONS SPÉCIALES	12 22 rizforme, possibilité espace en distal des latérales, correction du torque des incisives maxillaires et la possibilité d'une avancée des incisives mandibulaires de 1mm par dent + du stripping jusqu'à 3 mm
PVS/SCAN	Empreintes PVS vont être envoyées
SYSTÈME DE NUMÉROTATION DES DENTS	Universel (#1 - #32)
TRAITEMENT DES DEUX ARCADES	Paramètres par défaut d'Align
ALIGNERS PASSIFS	Oui, ajouter plus d'aligners passifs pour avoir le même nombre d'aligners que sur l'arcade opposée
RIP SUR LE PLAN DE TRAITEMENT CLINCHECK INITIAL	Oui
REPORTER L'ÉTAPE DE DÉBUT DE LA RIP, DES TAQUETS ET DES EXTRACTIONS	Aucun report
PONTIQUES POUR ESPACES OUVERTS	Pontiques complets
EXPANSION D'ARCADE	Etablir et maintenir les arcades, mais sans expansion
EXPANSION PAR QUADRANT	<=2 mm par quadrant
DYSHARMONIE DENTO-DENTAIRE	Laisser l'espace en distal des incisives latérales
ALIGNEMENT DES DENTS DE L'ARCADE SUPÉRIEURE	Positionner les incisives latérales 0,5 mm plus courtes que les incisives centrales
AJUSTEMENT D'ALIGNER	Ajuster les aligners à la ligne de la jonction amélo-cémentaire
POUR LA FERMETURE D'ESPACE, APPLIQUER LA CHAÎNETTE ÉLASTIQUE VIRTUELLE	Non
TAQUETS	Optimized Attachments Dent # 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 Dent # 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29
CORRECTION A-P	Pour plus d'informations sur les Precision Cuts, consultez la page Aperçu du Traitement Placer l'Optimized Attachment à la place du Precision Cut - Remplacer la Découpe de Bouton par un Crochet et conserver l'Optimized Attachment
ÉTAPE DE DÉMARRAGE DES PRECISION CUTS	1



- Prescription du traitement :

Voici un exemple de prescription (Fig.3), celle-ci correspond au cas que nous allons traiter en fin de thèse :

Étape importante, on y précise toutes nos différentes exigences concernant le traitement, qui seront envoyées chez Align.

On y précise :

- les arcades à traiter.
- les restrictions de mouvements dentaires.
- les taquets que l'on souhaite placer, ou pas.
- nos préférences concernant les rapports A-P.
- nos préférences concernant le surplomb.
- nos préférences concernant le recouvrement.
- si l'on souhaite placer une rampe d'occlusion.
- si l'on souhaite modifier les milieux.
- nos préférences concernant la prise en charge des espacements et de l'encombrement : par RIP, expansion, vestibuloversion, extraction.
- les instructions spéciales que l'on souhaite ajouter.

Puis on va y joindre notre examen photographique, nos radiographies ainsi que les empreintes du patient.

Ces informations sont envoyées à Invisalign qui les analyse puis établit une simulation 3D du déplacement des dents : le « ClinCheck » (Fig.4).

Fig.3. Prescription de traitement Invisalign Full®

Le **ClinCheck** est envoyé à l'orthodontiste, en précisant, si nécessaire, les taquets et leur positionnement sur les dents, le taux de stripping inter-proximal / réduction inter-proximale (RIP), et la séance à laquelle ceux-ci doivent être réalisés.

L'orthodontiste peut ensuite valider ce ClinCheck ou le modifier et le renvoyer à Invisalign avec les demandes du praticien. Il peut y avoir plusieurs échanges entre Invisalign et le praticien. Une fois le ClinCheck validé, les aligneurs sont réalisés en polycarbonate et envoyés à l'orthodontiste, avec les consignes de pose des **taquets**, de **RIP**, **d'auxiliaires**, etc. Toutes les gouttières sont envoyées en même temps.



Fig.4. ClinCheck

#### 4<sup>ème</sup> rendez-vous :

- Pose des taquets nécessaires à l'aide de **templates** (gouttières souples permettant de placer les taquets), selon le traitement prévu (Fig.5).
- **Stripping inter-proximal** entre 0,1mm et 0,5mm, vérification de la taille à l'aide d'une jauge.
- Pose du **1<sup>er</sup> aligneur** et remise au patient des prochains jeux d'aligneurs.
- Rappel au patient des précautions à prendre, des règles d'hygiène, des conditions de port des aligneurs.

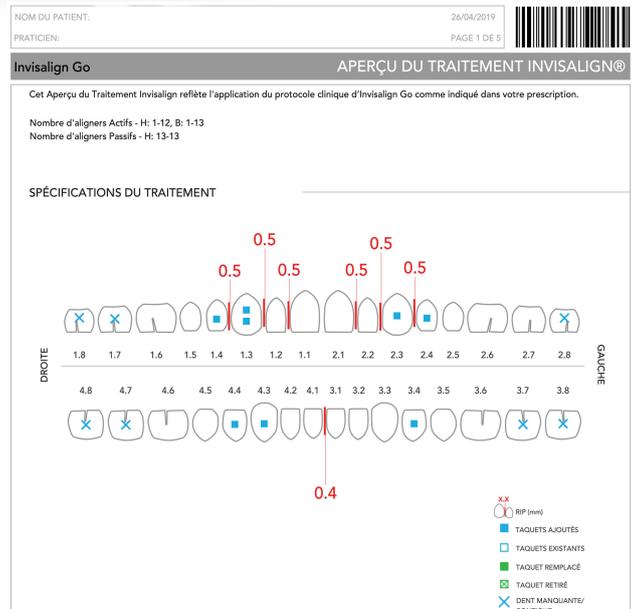


Fig.5. Exemple de fiche d'aperçu de traitement

→ Port des aligneurs tous les jours, minimum **22h/jour<sup>9</sup>**. Le patient changera de jeu d'aligneur tous les 15 jours et disposera les accessoires thérapeutiques si nécessaires (élastiques).

### Consultations suivantes :

Le patient sera suivi environ toutes les 6 à 8 semaines, jusqu'à la fin du traitement, lors de séances où l'orthodontiste surveillera l'évolution du traitement et pourra modifier les taquets / réaliser une améloplastie / faire du « stripping » / rajouter des forces externes / modifier les aligneurs / réaliser une évaluation de progression.

Enfin, à la fin de cette 1<sup>ère</sup> série d'aligneurs : le traitement peut ne pas avoir abouti ; il peut persister des anomalies intra ou inter-arcades, alors même qu'elles étaient censées être corrigées selon le ClinCheck prévisionnel. Des empreintes sont alors réalisées, envoyées à Invisalign avec de nouvelles demandes de traitement : un nouveau ClinCheck est reçu par le praticien qui le valide ou demande à nouveau des corrections, jusqu'à la validation finale du projet, et la réalisation d'un nouveau jeu d'aligneurs.

### Dernier rendez-vous de traitement actif :

Des finitions vont être réalisées, telles des améloplasties si nécessaires, à visée esthétique : dans le but de modifier un bord libre ou un angle par exemple ; ou à visée fonctionnelle : dans le but d'améliorer l'occlusion.

Puis une **contention** sera posée : cela peut être une plaque de Hawley, une contention fibrée, un **fil passif** articulé, un fil en **nitinol** (Mémotain® par Ormco) (Fig.6), une gouttière thermoformée, ou encore une gouttière de contention **Vivera** (matériau plus rigide que celui des gouttières de traitement) proposée par Invisalign® à la fin du traitement. La gouttière sera portée toutes les nuits les deux premières années (ou pendant une durée équivalente à celle du traitement, le temps que les fibres desmodontales se remanient), puis le port sera diminué à une nuit sur deux, puis 2fois/sem. Le fil de contention pourra être conservé longtemps à la demande du patient qui redoute des mouvements dentaires. Il faudra alors installer une surveillance régulière de la contention pour éviter des problèmes de déplacements tardifs sans décollement apparent du fil, appelés « syndromes du fil ».

Il est même possible de réaliser une contention alliant à la fois un fil de canine à canine et une gouttière de contention qui servira de test afin de surveiller tout déplacement dentaire et pourra être utilisée en cas de décollement du fil.



Fig.6. Fil de contention en Nitinol Mémotain® par Ormco : réalisé en CAD/CAM, il permet de réduire la taille du fil et d'augmenter l'hygiène orale.

## 1.IV | Les Alineurs : avantages, inconvénients, indications et évolutions de la technique

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esthétique</li> <li>- Confortable</li> <li>- Moins douloureux (qu'une technique fixe)</li> <li>- Urgences moins nombreuses</li> <li>- Meilleure communication</li> <li>- Diminue le temps au fauteuil</li> <li>- Meilleure hygiène orale<sup>3, 4</sup></li> <li>- Meilleure application et répartition de l'intensité des forces au cours du traitement et en fonction des dents<sup>10</sup></li> <li>- Meilleure transmission des informations du mouvement souhaité de par sa surface de contact<sup>10</sup></li> <li>- Protéger de l'attrition des dents chez les bruxomanes</li> <li>- Permet l'utilisation de produits d'éclaircissement</li> <li>- Son amovibilité permet de continuer les différentes activités quotidiennes sans impact (sport, musique)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coûts laboratoire importants</li> <li>- Contrôle du torque limité</li> <li>- Correction intermaxillaire limitée</li> <li>- Dépendance du logiciel</li> <li>- Dépendant de la morphologie dentaire</li> <li>- Inocclusion postérieure parasite</li> <li>- Difficulté de prédictibilité en fonction des mouvements souhaités</li> <li>- Son amovibilité peut devenir un inconvénient lorsque la coopération du patient n'est pas suffisante</li> </ul>

Fig.7. Tableau des avantages et inconvénients de la technique de traitement par aligneurs

Indications <sup>11</sup>	Indications plus/trop complexes <sup>12</sup> : Corbin, cité par Cellier
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classe I avec espaces généralisés ou un encombrement mineur ou moyen</li> <li>- Classe II d'une demi-cuspide avec un encombrement mineur</li> <li>- Classe III avec recouvrement et surplomb diminués sans indication d'extraction</li> <li>- Extraction d'une incisive mandibulaire</li> <li>- Extraction de prémolaires avec encombrement mineur</li> <li>- Chirurgie orthognatique</li> <li>- Orthodontie pré-prothétique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Encombrement ou diastèmes supérieurs à 10 mm</li> <li>- Mouvement important de racine</li> <li>- Dents en rotation de plus de 30°</li> <li>- Mouvements verticaux supérieurs à 5mm</li> <li>- Version dentaire supérieure à 45°</li> </ul>

Fig.8. Tableau des indications et indications plus complexes de la technique de traitement par aligneurs

Aujourd'hui, les indications et les possibilités de malocclusions pouvant être prises en charge sont en constante évolution, de par l'évolution des matériaux, des techniques de traitement et des éléments auxiliaires à disposition. Notamment avec :

✓ Le développement des taquets, puis des taquets optimisés avec « **SmartForces®** » développé par Invisalign®, se rapprochant au plus près de la biomécanique des forces des aligneurs afin de transmettre le mouvement le plus approprié à la dent concernée.

✓ La mise en place des « **Power Ridges** » (Fig.9) en 2008 permettant une amélioration du mouvement de torque dentaire.



Fig.9. Power Ridges sur les 11, 12, 21, 22

✓ Le développement par Invisalign® en 2013 du matériau « **SmartTrack®** » (LD30) pour la gouttière, qui serait plus résistant. Il permet une amélioration des forces et des mouvements dentaires<sup>6</sup> par rapport au précédent matériau Exceed-30 (EX30) utilisé jusque-là par la firme.

✓ L'amélioration régulière du **logiciel ClinCheck Pro** permettant à l'orthodontiste de contrôler en 3D, directement sur le logiciel le mouvement de la dent dans tous les plans de l'espace, les attachements, le RIP... et indirectement une meilleure visualisation et prédictibilité du résultat final.

✓ La création du dispositif « **MA®** » (Mandibular Advancement) (Fig.10) d'avancée mandibulaire en 2017 destiné au traitement orthopédique des Classe II squelettiques par rétrognathie mandibulaire :

les gouttières intègrent des ailettes en postérieur permettant de propulser la mandibule.

À titre d'exemple, Invisalign® sort successivement des « mises à jour » de la technique avec :

- **G3** en 2010, permet un découpage de précision pour accrocher des élastiques (Fig.12) ou coller un bouton (Fig.11) sur une surface dentaire.

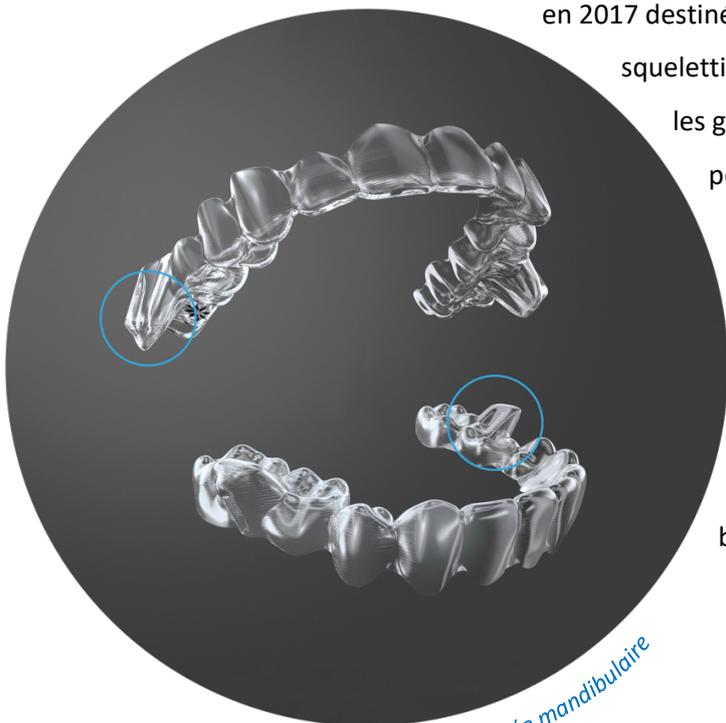


Fig.10. Dispositif d'avancée mandibulaire



Fig.11

- **G5** en 2014 dédié au traitement des supraclusions : création des **rampes d'occlusion** (« Bite Ramps » (Fig.13)) permettant une désocclusion postérieure, et **amélioration des taquets** en vue d'un meilleur nivellement de la courbe de Spee via l'extrusion des prémolaires et l'intrusion du secteur antérieur (Fig.14).

Fig.12

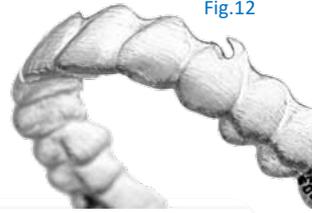


Fig.13. Bite Ramps visibles sur la surface linguale des aligneurs au maxillaire et en antérieur

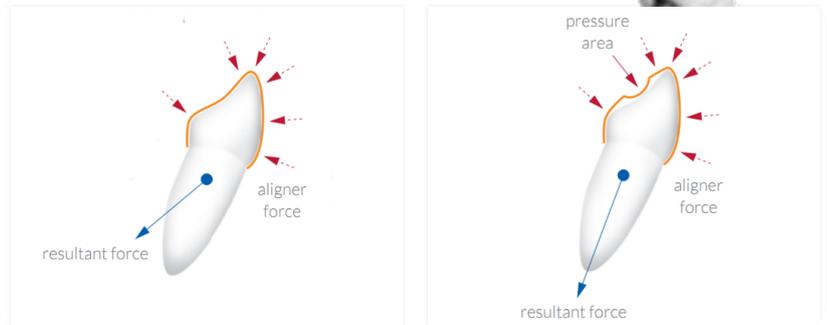


Fig.14. Optimisation de l'ingression antérieure par l'ajout d'une zone de pression en lingual

- **G6** en 2015 dédié aux traitements nécessitant l'extraction des 1<sup>ères</sup> prémolaires dans les cas de bi-proalvéolie ou d'encombrement important : invention de **SmartStage**<sup>®</sup> (technologie de « staging » (Fig.15) : c'est le fait d'ordonner et séquencer les différents mouvements afin de segmenter le traitement en étapes et ainsi optimiser la progression des mouvements), amélioration des fonctionnalités **SmartForce**<sup>®</sup> (Fig.16) (nouveaux taquets d'ancrage, taquets de rétraction canine optimisés pour un meilleur mouvement de translation), adaptation du pontique.

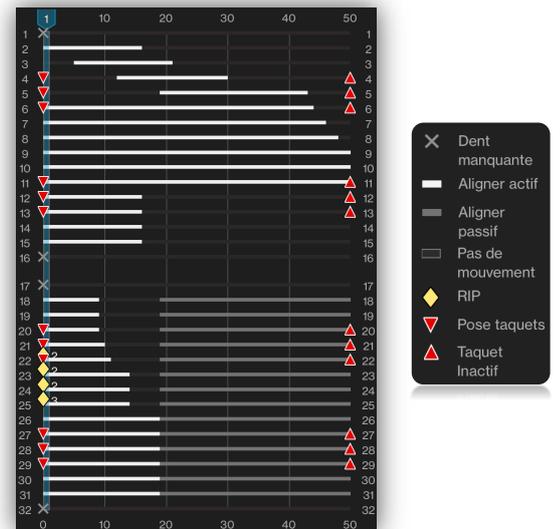


Fig.15. Staging : répartition des mouvements au cours du temps

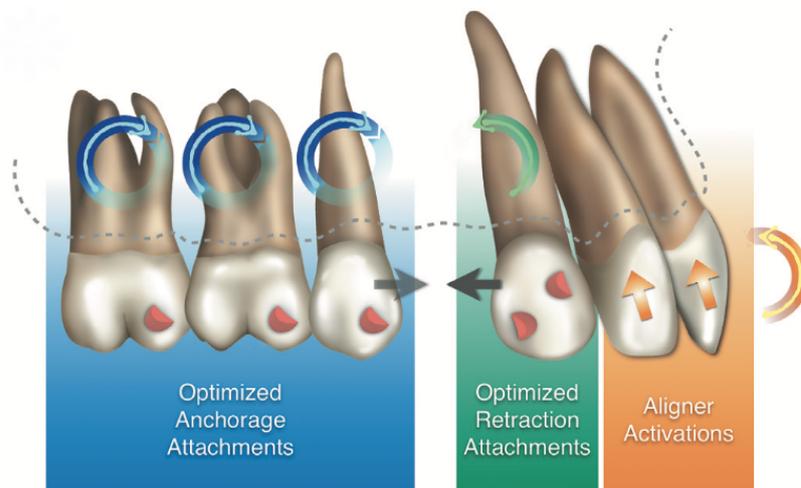


Fig.16. Amélioration G6 des fonctionnalités SmartForce<sup>®</sup> dans la fermeture d'espace

- **G7** en 2016 ayant pour but l'amélioration des finitions ainsi que des taquets optimisés (Fig.17) pour le contrôle des incisives latérales et des racines



- **G8** en début 2021, promet d'améliorer la prédictibilité des mouvements, avec « **SmartForce Aligner Activation** » qui anticipe automatiquement la sur-correction nécessaire, afin de diminuer celle pouvant être apportée par le praticien. Cette technologie facilite l'expansion d'arcade en postérieur (cas d'encombrement et d'occlusion inversée), et l'ingression antérieure (cas de supraclusion)<sup>13</sup>.

Finalement, le recul et l'expérience du praticien sur la technique fait partie intégrante de l'amélioration du traitement et de sa prédictibilité. Le praticien est ainsi plus à même d'anticiper les erreurs de suivi et optimiser les mouvements en amont et au cours du traitement.

Ainsi, des connaissances poussées d'orthodontie sont nécessaires si l'on souhaite traiter même les cas les plus complexes.

## 1.V | Temps de port

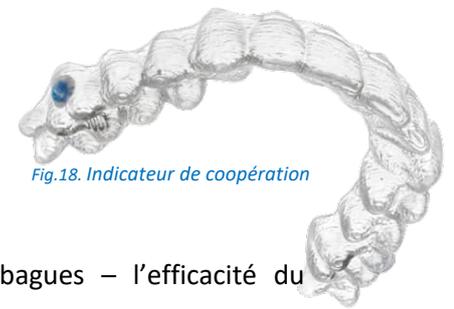


Fig.18. Indicateur de coopération

Le système étant amovible - par rapport à un système multibagues – l'efficacité du traitement réside en premier lieu dans la **compliance** du patient, son **observance** concernant le port des gouttières (22h/jr, changement toutes les 2 semaines). Pour la gamme d'aligneurs Invisalign Teen®, des indicateurs de respect de durée de port des aligneurs (Fig.18) sont mis à disposition. Cette efficacité permet une **rapidité** de traitement, avec un temps de traitement et un temps au fauteuil raccourcis dans les cas de malocclusions légères à modérées<sup>14, 15, 16</sup>, grâce entre autres à la répartition des mouvements lors du **staging**<sup>17</sup>.

En 2002, une étude<sup>18</sup> se basant sur le PAR Index déclare avoir un meilleur résultat (NS) avec un changement toutes les 2 semaines plutôt que toutes les semaines.

Fin 2016, Invisalign® annonce que le changement de gouttière pouvait être prescrit **toutes les semaines**<sup>19</sup> chez les produits Full® et Teen®. Le temps de traitement se verrait ainsi divisé par 2, car la majorité du mouvement se produit lors de la 1<sup>ère</sup> semaine de port de la gouttière<sup>20, 21, 22</sup>. Cependant, Invisalign et les auteurs<sup>20</sup> recommandent d'utiliser cette méthode au cas par cas, en fonction de la complexité du cas et de la quantité de mouvements planifiés, spécifiquement lors d'importants mouvements de racines, de rotation ou d'égression.

Fig.19. Dispositif OrthoPulse iO LED<sup>25</sup>



Récemment, de nouvelles technologies permettraient d'augmenter l'efficacité des aligneurs en accélérant encore cette vitesse de traitement : c'est le cas de l'**OrthoPulse**® (Biolux)(Fig.19) (utilise la photobiomodulation par LED pour stimuler les mouvements, pendant 5min/arcade/jour) et de l'**Acceledent**® (OrthoAccel Technologies)(Fig.20) (transmet de légères vibrations à la dent, temps d'utilisation : 20min/jour).

Avec ces techniques, Ojima<sup>23</sup> a pu prescrire un changement de gouttière **tous les 3 jours** en utilisant l'OrthoPulse® (passant d'un cas de 31 gouttières en 16mois à 4mois de traitement) et **tous les 4 jours** avec l'Acceledent® (passant d'un cas de 76 gouttières en 3ans à 1an de traitement).

Des procédures de chirurgies ont également été décrites, pouvant être utilisées concomitamment, consistant à élever chirurgicalement un lambeau puis créer de légères **corticotomies alvéolaires** autour des dents. Mais l'efficacité de cette technique est remise en cause par la limite dans le temps de l'amélioration du mouvement, les frais supplémentaires engagés et le manque de **preuves** sur cette technique<sup>24</sup>.



Fig.20. Dispositif Acceledent Aura<sup>25</sup>

## 1.VI | Éléments destinés à l'amélioration des mouvements

L'efficacité est encore faible concernant certains mouvements, notamment les rotations, ce qui pousse à chercher diverses solutions afin d'y remédier. Il existe plusieurs raisons à ce **manque d'efficacité** comme par exemple une mauvaise transmission des forces lors du mouvement, une faible adhérence entre la gouttière et la dent, ou encore le fait que la dent n'est parfois pas totalement insérée dans la gouttière. Ces problèmes peuvent être dus à un défaut de planification de traitement, mais aussi lors de la prise d'empreinte, la création des gouttières, le matériau de la gouttière lui-même.

La première astuce pour aider à pallier ce problème a été la création des « **chewies** » (Chewies Aligner Tray Seaters, Dentsply) (Fig.21) pour ainsi améliorer l'assise de la gouttière et combler l'espace dent-gouttière. Ce sont des rouleaux de coton en plastique sur lesquels il faut mordre pour correctement placer la gouttière. Il est recommandé au patient de les utiliser quelques minutes par jour, les premiers jours après un changement de gouttière.<sup>25</sup>



Fig.21. Illustration des chewies

Lors de la fermeture d'un espace, il est possible d'augmenter sa précision en réduisant les mouvements à de **petits segments** dentaires. Les dents adjacentes à la dent malpositionnée devront être maintenues en place jusqu'à ce que cette dernière soit dans la bonne position. Ainsi, l'ancrage sera mieux contrôlé s'il est maintenu en place, et on réduit les erreurs que l'on peut rencontrer dans des mouvements simultanés de grande étendue<sup>26</sup>.

**L'espace nécessaire** à la correction d'une malposition doit être créé en amont sous peine de ne pas pouvoir effectuer le mouvement voulu et, de plus, provoquer un effet iatrogénique d'intrusion.

Dans les cas où l'efficacité du mouvement de **rotation** est faible (canines et incisives latérales) il faudra veiller à créer un espace nécessaire suffisant puis, ensuite, adjoindre des forces complémentaires à l'aide de **taquets** correctement positionnés (Nicozisis<sup>27</sup> cité par Bowman<sup>25</sup>) (la force transmise passerait de 1,2 à 8,8 N/mm avec l'utilisation d'attachements<sup>22</sup>).

Assurer un espace disponible suffisant pour les mouvements d'**égression** est aussi très important, au-delà du fait d'augmenter la taille des attachements.

Une **sur-correction** avisée de la rotation est le plus souvent recommandée, d'environ 2°-3°, afin d'atteindre une position idéale. On peut le programmer en amont mais on peut aussi utiliser des pinces (The Vertical, Hu-Friedy) (Fig.22) conçues pour produire des indentations dans la gouttière et accentuer le couple de force ainsi produit à la position voulue :



Fig.22. Pince Hu-Friedy La Verticale<sup>28</sup>



Cette pince permet une **sur-correction de la rotation** en créant une indentation en mésial / distal de la face vestibulaire / linguale de la dent concernée.

Pour accentuer cette rotation, on peut créer un couple de force en faisant une indentation sur la face et le côté opposé à la première indentation sur cette même dent.<sup>28</sup>

Elle peut également servir à produire un léger retrait de la dent et favoriser un autre mouvement voulu.<sup>29</sup>

Il sera recommandé d'effectuer une **fibrotomie circonférentielle supracrestale** dans les cas de rotations importantes afin de prévenir une récurrence<sup>25</sup>.

D'autres pinces ont été développées comme l'horizontale, l'encoche ainsi que le creux :



Fig.23. Pince Hu-Friedy L'Horizontale<sup>28</sup>

Elle crée une indentation en vestibulaire ou lingual permettant d'induire un mouvement de torque sur la dent concernée. Cette indentation est appelée **power ridge**.

Elle permet aussi d'augmenter la rétention de la gouttière en plaçant l'indentation sous un attachement ou sous une zone en contre-dépouille.<sup>28</sup>



→ En raison de la flexibilité du plastique et de la difficulté inhérente au mouvement de torque, il est recommandé d'effectuer une sur-correction de ce dernier.

→ Il faudra toutefois faire attention aux **mouvements parasites** pouvant être induits, par exemple une désinsertion de l'aligneur lors des mouvements de torque<sup>30</sup>, ou encore une bascule mésiale iatrogénique de la 1<sup>ère</sup> molaire lors d'un mouvement de torque des dents antérieures<sup>31</sup>.

Le **torque** est un mouvement difficile mais important, que ce soit en antérieur et postérieur ; selon l'American Board of Orthodontics (ABO), de nombreux échecs à leur examen sont dus à un torque vestibulo-lingual insuffisant au niveau molaire. Il faudra veiller à ce que les cuspides vestibulaires et linguales soient au même niveau (le conseil déclare « qu'il ne devrait pas y avoir de différence significative entre les hauteurs des cuspides buccales et linguales des molaires et prémolaires maxillaires et mandibulaires »<sup>32</sup>, dans une limite de 1mm, les molaires se redressant au cours de la vie<sup>33</sup>) et favoriser une bonne intercuspidation postérieure lors du plan de traitement, ce qui permet de diminuer la désocclusion postérieure iatrogénique observée lors du port des aligneurs à long terme.<sup>25</sup>

L'adjonction de **forces complémentaires** permet également d'améliorer les mouvements, par exemple via des **élastiques** reliés à la gouttière elle-même, ou à des **boutons**, des **minivis** :



Fig.24. Pince Hu-Friedy L'Encoche<sup>28</sup>

Permet de créer une encoche au bord de la gouttière afin d'y **placer des élastiques**.

Ainsi l'accès est facilité afin d'y placer des élastiques en relation avec un bouton, une minivis, ou n'importe quelle mécanique qui soit inter-maxillaire, pour faciliter la fermeture d'espace, l'égression, l'ingression.

L'Encoche et le Poinçon permettent de mettre en place la technique de « **bootstrap** » (Fig.25) consistant à placer un bouton en lingual de la dent et le relier par un élastique à des encoches en vestibulaire. Ce système permet de faciliter l'**égression** d'une dent qui n'a pas suivi le mouvement voulu.

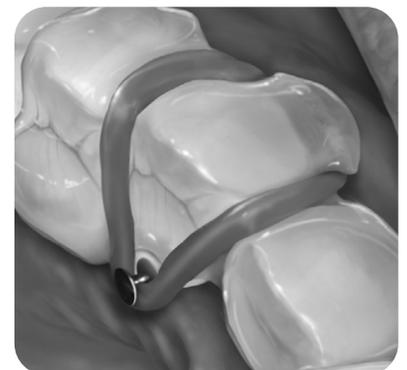


Fig.25. Technique de « bootstrap »<sup>25</sup>

Fig.26. Pince Hu-Friedy Le Poinçon<sup>28</sup>

Crée une découpe circulaire dans l'aligneur afin de **placer sur la dent un bouton** ou un bracket pour placer un élastique ou tout autre mécanique.

Permet également de dégager les zones où la gouttière est irritante pour la gencive.



L'usage des élastiques, avec des **minivis** comme ancrage, peut permettre l'ingression d'un secteur entier<sup>25</sup>. C'est pourquoi le champ d'indication des gouttières s'étend maintenant jusqu'aux anomalies squelettiques de Classe II, III. Pour augmenter l'efficacité de ces corrections il est recommandé d'utiliser, avant la mise en place des aligneurs, des systèmes permettant la distalisation des secteurs postérieurs comme par exemple : le « **Horseshoe Jet** », le « **Distal Jet** » ou le « **Carriere Motion** ».



*Fig.27. De gauche à droite : Horseshoe Jet, Distal Jet et Carriere Motion*

## 2 | Mouvements obtenus par aligneurs : Analyse de la littérature

L'objectif de cette analyse de la littérature est double :

- connaître les principaux mouvements réalisés ou difficilement réalisés par les aligneurs
- savoir plus précisément quels sont les mouvements réalisés ou non par le 1<sup>er</sup> jeu d'aligneurs en comparant le modèle théorique en fin de 1<sup>er</sup> ClinCheck et celui réalisé en début de 2<sup>ème</sup> ClinCheck.

Une recherche a été menée à l'aide de PubMed, Cochrane Library, Medline, et ScienceDirect sur des articles datant de 2004 à 2020, en anglais. Les critères d'inclusion rassemblaient des études cliniques humaines, une population étudiée à tous les âges et l'utilisation des aligneurs lors du traitement. Les mots-clefs utilisés ont été : « **Invisalign** », « **effectiveness** », « **predictability** » et « **aligner** ».

Parmi les articles accessibles, les titres et les résumés ont été lus pour identifier la sélection à inclure dans l'analyse de la littérature. Toutes les études ne portant pas sur l'efficacité clinique d'Invisalign ont été exclues, ainsi que les rapports de cas, les traitements avec chirurgie orthognatique, les patients traités ayant des maladies parodontales ou des syndromes génétiques et les articles n'étant pas accessibles dans leur totalité.

Ainsi, **14 études et 7 revues** de la littérature ont été retenues et étudiées. Un tableau a été réalisé, détaillant pour chaque étude et revue son année de réalisation, ses objectifs, ses matériels et méthodes, ses résultats et conclusions.

<i>Date</i>	<i>Objectif de l'étude</i>
<i>n°</i>	<i>Matériel &amp; Méthode</i>
<i>Titre</i>	<i>Résultats</i>
<b>2004</b>	<i>Juger de l'efficacité d'Invisalign en comparant les résultats avant et après traitement</i>
<b>n°1</b> <i>A Retrospective Evaluation of the</i>	<i>- Étude rétrospective sur <b>44 cas</b> de malocclusion légère à modérée de Classe I, entre 2001 et 2002. - Les moulages ont été mesurés avant et après traitement, à l'aide du <b>PAR Index</b> (Peer Assessment Rating). Les éléments mesurés ont été : le déplacement du secteur antérieur maxillaire, déplacement du secteur antérieur mandibulaire, relation occlusale des secteurs 1 et 4, relation occlusale des secteurs 2 et 3, surplomb, recouvrement et ligne inter-incisive. L'indice d'irrégularité de Little, les largeurs inter-canines et inter-molaires ont également été mesurés.</i>

<p><i>Effectiveness of the Invisalign® Appliance using the PAR and Irregularity Indices<sup>34, Kamatovic</sup></i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La moyenne du PAR Index qui était entre 0 et 30 avant traitement, est descendue entre 0 et 5 après traitement.</li> <li>- Il y a eu une <b>différence significative</b> entre les moulages pré-post-traitement concernant certaines anomalies (correction du surplomb incisif, alignement antérieur, correction du non-alignement des lignes inter-incisives et correction du PAR total), mais <b>pas de différence significative</b> concernant la correction dans les sens vertical, antéro-postérieur, et transversal.</li> <li>- Ainsi, <b>Invisalign permet</b> la correction de l'encombrement, du surplomb, de l'alignement antérieur faibles à moyens en Classe I, ainsi que l'amélioration générale des anomalies du patient (mesurée via le PAR).</li> <li>- En outre, l'appareil se révèle <b>inefficace</b> pour corriger les supraclusions et les anomalies occlusales antéro-postérieures et transversales.</li> <li>- Invisalign provoque une <b>augmentation des largeurs</b> inter-molaires et inter-canines à la mandibule et au maxillaire, cela compromettrait la stabilité du traitement.</li> </ul>
<p><b>2006</b></p> <p><b>n°2</b></p> <p><i>Evaluation of expected and actual Invisalign® treatment outcomes<sup>35, Erdman</sup></i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Évaluer les différences entre ClinCheck et résultats obtenus</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Étude rétrospective sur <b>34 cas</b> de patients âgés de 18 ans minimum, sans extraction, avec encombrement ou diastèmes, dont 14 cas de malocclusion de Classe II et 2 cas de Classe III.</li> <li>- Les modèles prédits et obtenus sont superposés dans cette étude selon un algorithme de « meilleure adaptation » (tolérance 0,1mm), à l'aide du logiciel <b>ToothMeasure®</b> (propriété d'<i>Invisalign®</i>). La superposition permet de comparer les différences de mouvements obtenus pour chaque dent et le pourcentage « d'adaptation » entre les modèles, et entre les dents.</li> </ul> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La moyenne générale « d'adaptation » entre les modèles prédits-obtenus a été de 88%.</li> <li>- Des différences ont été mises en évidence entre résultats prédits et obtenus : <ul style="list-style-type: none"> <li>- au niveau des dents antérieures (pourcentage élevé) avec des écarts modérés dans les 3 sens de l'espace : difficulté pour les aligneurs à traiter les <b>diastèmes, encombrements, béances et supraclusions</b>.</li> <li>- au niveau des dents postérieures (pourcentage modéré) avec des écarts significatifs dans le sens mésio-distal et vestibulo-lingual : difficulté pour traiter les <b>occlusions inversées postérieures</b>.</li> <li>- des écarts significatifs concernant les mouvements de <b>rotations</b> au niveau des canines, incisives et prémolaires mandibulaires : difficulté du système dans le traitement des rotations des dents.</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>2009</b></p>	<p style="text-align: center;"><i>Évaluer l'efficacité des mouvements par aligneurs avec Invisalign</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Étude prospective sur <b>37 cas</b> (401 dents) avec un encombrement antérieur inférieur à 5mm, entre 2005 et 2006.</li> </ul>

<p><b>n°3</b></p> <p><i>How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign<sup>36</sup>, Kravitz</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La quantité de mouvement prédit a été comparée avec la quantité de mouvement obtenu avec <b>ToothMeasure®</b> (propriété d'Invisalign®) à travers les mouvements vestibulaires, linguaux, ingression, égression, version mésio-distal, version vestibulo-linguale et rotation.</li> <li>- Les modèles prédits-obtenus ont été superposés sur leurs dents postérieures prémolaires et molaires qui n'ont pas été déplacées. Le pourcentage de précision des mouvements dentaires a été calculé selon la formule : <math display="block">\% \text{ de précision} = 100\% - \left( \frac{\text{résultats prédits} - \text{résultats obtenus}}{\text{résultats prédits}} \right) \times 100\%</math> </li> <li>- Moyenne de 41% de précision du mouvement prédit.</li> <li>- Le mouvement le plus précis a été le <b>mouvement lingual</b> (47,1%)(canines mandibulaires (59,3%) et incisives latérales (54,8%)) ainsi que la <b>rotation des incisives centrales maxillaires</b> (54,2%) (mais rotation canines maxillaires : 32,2%).</li> <li>- Le mouvement le moins précis a été <b>l'égression</b> (29,6%)(incisives centrales mandibulaires (24,5%) et maxillaires (18,3%)) ainsi que la <b>version mésio-distal des canines mandibulaires</b> (26,9%).</li> <li>- La <b>version linguale</b> des dents s'est révélée plus précise que la version vestibulaire, en particulier pour les incisives (centrales maxillaires et latérales).</li> <li>- La <b>rotation canine</b> (30%)(la canine mandibulaire est la dent la plus difficile à contrôler) a été significativement inférieure à la rotation des autres dents (à l'exception des incisives latérales maxillaires). La rotation de la canine maxillaire est réduite de moitié à partir d'une rotation &gt;15°.</li> <li>- Kravitz recommande une sur-correction supérieure à 10% pour la rotation des canines et des prémolaires.</li> <li>- Invisalign n'est pas recommandé pour la correction de <b>supraclusions importantes</b>.</li> <li>- Il semblerait que la sévérité du <b>surplomb antérieur</b> influence le résultat.</li> <li>- Limites : aucune sur-correction n'a été effectué, aucune aide auxiliaire n'a été posée et seulement 10 gouttières ont été utilisées au cours du traitement.</li> </ul>
<p><b>2012</b></p> <p><b>n°4</b></p> <p><i>Invisalign treatment in the</i></p>	<p>Évaluer la correspondance entre modèle d'étude physique et modèle digital du Clincheck, puis entre mouvements prédits et mouvements réalisés à la fin du traitement.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Étude rétrospective de cohorte sur <b>50 cas</b> entre 2005 et 2010, avec un encombrement moyen de <b>5,6mm</b>.</li> <li>- Les modèles en plâtre pré et post-traitement ont été analysés à l'aide d'un pied à coulisse numérique : périmètre d'arcade antérieur, distance intercanine, <b>surplomb</b>, recouvrement, ligne inter-incisive et l'indice d'irrégularité de Little.</li> <li>- Les 50 ClinCheck initiaux et finaux ont été analysés à l'aide de <b>ToothMeasure®</b></li> </ul>

<p><i>anterior region.</i></p> <p><i>Were the predicted tooth movement achieved ?<sup>37</sup>.</i></p> <p><i>Krieger</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les <b>objectifs d'alignement du secteur antérieur</b> ont été atteints, même lorsqu'ils étaient sévères. La correction de l'encombrement antérieur par déplacement vestibulaire des incisives est facilement réalisable.</li> <li>- Pas de différence significative révélée entre les <b>mouvements prédits et les mouvements réalisés</b>, sauf pour le <b>recouvrement</b> (la différence trouvée pour les lignes inter-incisives, le surplomb incisif, la distance inter-canine et le périmètre d'arcade antérieur varie de <b>0,01mm à -0,34mm</b>, mais elle est <b>0,71mm</b> pour le recouvrement).</li> <li>- Les mouvements verticaux sont plus difficiles à réaliser. Ainsi, en cas de mouvements verticaux importants, il sera recommandé de placer des <b>attachements</b> [horizontaux dans la zone prémolaire, appliqués bilatéralement pour augmenter la rétention de l'aligneur], ou d'utiliser des <b>élastiques verticaux</b>, ou encore de prévoir une <b>sur-correction</b>.</li> </ul>
<p><b>2013</b></p> <p><b>n°5</b></p> <p><i>Assessment of Invisalign treatment outcomes using the ABO MGS<sup>38</sup>.</i></p> <p><i>Kassas</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Évaluer les fins de traitement par aligneurs Invisalign®</i></p> <hr/> <p><i>- Étude rétrospective sur 31 cas Invisalign, sans extraction, ayant une denture complète et un Discrepancy Index (DI) compris entre 10 et 20.</i></p> <p><i>- L'évaluation a été faite en mesurant les modèles pré et post-traitement à l'aide du Model Grading System (MGS) de l'ABO.</i></p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tous les paramètres du MGS ont été améliorés.</li> <li>- Il y a une amélioration significative concernant le score total MGS, l'<b>alignement</b> et l'<b>inclinaison vestibulo-linguale</b>, mais pas d'amélioration concernant les <b>contacts occlusaux postérieurs</b> et les <b>relations occlusales</b>.</li> </ul>
<p><b>2013</b></p> <p><b>n°6</b></p> <p><i>Treatment effectiveness of the Invisalign® System<sup>1</sup>.</i></p> <p><i>Aileen</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Évaluer l'efficacité du système Invisalign</i></p> <hr/> <p><i>Revue systématique de la littérature sur 10 études, entre 2005 et 2012.</i></p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le système Invisalign se révèle être <b>efficace</b> pour la <b>fermeture d'espaces légers</b>, le <b>mouvement lingual</b>, les <b>rotations antérieures</b> et le <b>nivellement</b> des crêtes marginales. En revanche il n'est pas assez efficace pour corriger les anomalies <b>antéro-postérieures</b>, les <b>contacts occlusaux</b>, les <b>égressions</b> et <b>rotations &gt; 15°</b>.</li> <li>- L'écart entre mouvement réalisé et mouvement prédit est relativement faible, cependant une <b>sur-correction</b> sera nécessaire pour le traitement des supraclusions.</li> <li>- La <b>qualité des études</b> présentes ne nous permet pas de tirer des conclusions basées sur la preuve.</li> </ul>
<p><b>2014</b></p>	<p style="text-align: center;"><i>Évaluer les différentes variables pouvant affecter l'efficacité des mouvements orthodontiques par aligneurs.</i></p>

<p><b>n°7</b></p> <p>Variables affecting orthodontic tooth movement with clear aligners<sup>39, Chisari</sup></p>	<p>- Étude prospective sur <b>30 cas</b> (15 jeunes adultes et 15 adultes) de 19 à 64 ans. Les résultats ont été combinés avec les résultats de 2 études identiques, au total, le nombre de sujets était de <b>82</b>.</p> <p>- Le traitement consiste en un déplacement de l'incisive maxillaire sur 1mm en 8 semaines. Des empreintes PVS ont été envoyées aux temps T0 et T1 à Align Technology pour que des modèles 3D soient créés, puis superposés et mesurés grâce au logiciel <b>Tooth Measure</b> (propriété d'Invisalign®) avec pour référence, la meilleure adaptation sur les dents non déplacées. Des CBCT ont été utilisés pour l'analyse des autres variables.</p> <p>- Variables évaluées : <b>sexe, âge, longueur des racines, qualité osseuse.</b></p> <p>- <b>57%</b> du mouvement prédit a été achevé (mouvement antérieur de 1mm sur une incisive maxillaire en 8 semaines)</p> <p>- Aucune relation n'a été mise en évidence entre les différentes variables mais l'étude suggère une relation complexe entre <b>mouvement de la dent et âge</b> du patient : l'efficacité du mouvement augmentant entre 18 et 35 ans puis diminuant à partir de 50ans chez les hommes (pas chez les femmes).</p> <p>- Une relation significative négative a été établie entre <b>l'efficacité du mouvement et la longueur apex-centre de rotation.</b></p> <p>- La majorité du mouvement est effectuée lors de la <b>1<sup>ère</sup> semaine.</b></p>
<p><b>2014</b></p> <p><b>n°8</b></p> <p>Treatment outcome and efficacy of an aligner technique – regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization<sup>40, Simon</sup></p>	<p><i>Analyser l'efficacité des traitements orthodontiques selon le système Invisalign, et l'influence des auxiliaires (attachements, power ridge) et du staging.</i></p> <p>- Étude rétrospective en bouche fractionnée, sur <b>30 cas</b> (dont 4 perdus de vue) entre 2011 et 2012, dont le traitement Invisalign prévoyait un <b>torque incisif &gt; 10°</b>, une <b>rotation prémolaire &gt; 10°</b> ou une <b>distalisation molaire &gt; 1,5mm</b>. Les mouvements ont été répartis en 3 groupes (puis 2 sous-groupes chacun) : torque incisif (taquet ellipsoïde horizontal/power ridge) ; rotation prémolaire (pas de taquet/taquet optimisé) ; distalisation molaire (pas de taquet / taquet biseauté horizontal).</p> <p>- Le modèle prédit a été récupéré via le ClinCheck, et les modèles en plâtre pré-traitement et finaux ont été scannés au laser afin d'être convertis au format numérique. Les 3 modèles ont été ainsi superposés avec le logiciel <b>Surfacer 10.0</b> par un algorithme de superposition surface/surface en se servant des <b>dents non traitées</b> comme points de référence.</p> <p>- Afin d'évaluer l'efficacité, la différence entre le mouvement obtenu (superposition modèle initial-modèle obtenu) et le mouvement prédit (superposition modèle initial-ClinCheck final) a été calculé.</p> <p>- L'efficacité globale moyenne calculée a été de 59 % : la distalisation de la molaire maxillaire étant la plus précise (<b>88,4%</b>), suivi du torque incisif (<b>50%</b>), puis de la rotation prémolaire (<b>42%</b>), ainsi la rotation prémolaire et le torque incisif ont été significativement différents entre les mouvements obtenus/prédits (ClinCheck).</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucune différence significative n'a été trouvée entre traitement <b>avec ou sans attachement</b> : l'utilisation d'attachements lors de la distalisation et de Power Ridge lors du torque amènent de légers bénéfices mais non significatifs (NS). Il n'y a pas eu d'amélioration du traitement de la rotation mais ceci peut s'expliquer par la mauvaise compliance d'un patient lors de l'étude (8h de port /jour). Si l'on devait exclure la mauvaise observance du patient, une précision moyenne de 47,3% aurait été atteinte.</li> <li>- L'étude souligne l'importance du <b>staging</b> lors du traitement : la précision est significativement réduite à partir d'un <b>staging &gt; 1,5° par aligneur</b>, ou au-delà de <b>15° de rotation prévue</b>. Une sur-correction est fortement recommandée si des corrections supérieures sont envisagées.</li> <li>- L'étude est limitée car elle se concentre sur 3 mouvements pendant un jeu moyen de 18 aligneurs. Habituellement, le nombre d'<b>aligneurs utilisé est plus important</b>, et l'efficacité globale peut être plus grande car les mouvements sont mieux répartis tout au long du traitement.</li> </ul> <p>De plus, dans cette étude, les patients ont commencé leur traitement avant 2013 (date de sortie du matériau <b>SmartTrack®</b> (LD30)) et leurs gouttières ont été réalisées avec le matériau Exceed30 (EX30), moins performant.</p>
<p><b>2015</b></p> <p><b>n°9</b></p> <p><i>Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement<sup>41</sup>, Rossini</i></p>	<p><i>Évaluer l'efficacité des aligneurs, sur le contrôle des mouvements dentaires, basée sur la preuve</i></p> <p><i>Revue systématique de la littérature sur 11 études, entre 2000 et 2014.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les aligneurs sont efficaces pour les <b>ingressions antérieures</b> mais pas pour les <b>égressions antérieures et les rotations</b> (spécifiquement la rotation des dents « rondes »). Ils sont donc recommandés pour le traitement des <b>supraclusions légères</b>, mais ne le sont pas pour le traitement des <b>béances</b>.</li> <li>- Contrôle efficace de la <b>distalisation des molaires maxillaires</b> d'au moins 1,5mm, et du <b>torque postérieur</b> (mais pas en antérieur).</li> <li>- Dans les études analysées, tous les <b>taquets</b> (bien que non « optimisés ») ont permis d'améliorer les mouvements dentaires.</li> <li>- Les traitements par aligneurs ne fonctionnent pas seuls et requièrent l'utilisation <b>d'éléments auxiliaires</b> pour améliorer leur efficacité : attachements, élastiques, RIP, modification de la gouttière...</li> <li>- Les études présentent certains <b>biais et une hétérogénéité</b> qu'il est nécessaire de prendre en compte ; leur qualité ne permet pas de conclure à des recommandations de dentisterie basées sur la preuve.</li> </ul>
<p><b>2015</b></p>	<p><i>Comparer les modèles Clincheck et les modèles actuels post-traitement à l'aide du Model Grading System (MGS)</i></p>
<p><b>n°10</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Étude prospective sur 27 cas traités par aligneurs (pas de critère d'inclusion détaillé)</i></li> <li>- <i>L'analyse comparative des ClinCheck finaux et des modèles cliniques post-traitement a été faite via l'ABO MGS en réalisant les mesures à l'aide du logiciel MeshLab V1.30. Des scores ont ainsi été calculé pour</i></li> </ul>

<p><i>Predicted and actual end-of-treatment occlusion produced with aligner therapy<sup>42, Buschang</sup></i></p>	<p><i>chaque modèle et pour chaque indice de l'MGS : alignement, crêtes marginales, inclinaison vestibulo-linguale, contacts occlusaux, relation occlusale, surplomb et contacts inter-proximaux (l'angulation des racines n'a pas été mesurée car elle n'est pas disponible dans le ClinCheck).</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les modèles ClinCheck <b>ne reflètent pas</b> l'occlusion finale du patient : il y a une surestimation de l'alignement, de l'inclinaison vestibulo-linguale, des contacts occlusaux et de la relation occlusale. En effet une différence significative a été calculée entre la moyenne du score total des <b>ClinCheck (14points)</b> et celle des <b>modèles post-traitements (24points)</b>.</li> <li>- La concordance des modèles <b>augmente avec les mouvements horizontaux</b> mais diminue avec les mouvements verticaux.</li> <li>- Une phase de <b>traitement de finalisation</b> est nécessaire pour atteindre les résultats du ClinCheck. Mais cela est compensé par le fait que le traitement par aligneur est <b>plus court et demande moins de visites</b> que le traitement conventionnel. Aussi, les résultats restent largement comparables à ceux obtenus avec la technique conventionnelle.</li> <li>- Les aligneurs montrent une grande variabilité concernant l'alignement, la situation relative des crêtes marginales et les contacts occlusaux, mais ce sont aussi des problématiques rencontrées avec les traitements conventionnels.</li> </ul>
<p><b>2017</b></p> <p><b>n°11</b></p> <p><i>How accurate is Invisalign in nonextraction cases ? Are predicted tooth positions achieved ?<sup>43, Grünheld</sup></i></p>	<p><i>Évaluer l'efficacité d'Invisalign concernant la réalisation des mouvements prédits par le ClinCheck</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Étude clinique rétrospective incluant <b>30 patients</b> (22 en Classe I, 7 en Classe II et 1 en Classe III ; âge moyen : 21,6ans) : cas de non-extraction, en denture adulte complète, sans sur-correction et sans aides auxiliaires. Les traitements ont duré en moyenne 11mois.</i></li> <li>- <i>Les mouvements étudiés sont le <b>tip</b>, le <b>torque</b>, et la <b>rotation</b> dans les 3 sens de l'espace.</i></li> <li>- <i>Le modèle post-traitement a été segmenté en dents individuelles. Pour obtenir les valeurs des différences de mouvements, ces dents individuelles ont été superposées sur le modèle non segmenté du ClinCheck prédit, à l'aide d'un algorithme de « meilleure adaptation » via le logiciel <b>Compare (GeoDigm)</b>.</i></li> <li>- <i>Les différences de mesures &gt;0,5mm ou &gt;2° ont été considérées comme <b>cliniquement pertinentes</b>.</i></li> <li>- <i>Des <b>différences significatives</b> entre les positions prédites et obtenues ont été trouvées pour toutes les dents, à l'exception des incisives latérales maxillaires, des canines et des 1<sup>ères</sup> prémolaires.</i></li> <li>- <i>Les <b>dents antérieures</b> étaient <b>plus égressées</b> que prévu, la <b>rotation des dents arrondies</b> était incomplète et le mouvement des <b>dents postérieures</b> dans toutes les dimensions n'était <b>pas entièrement réalisé</b> (excepté le torque coronaire des 2<sup>èmes</sup> molaires maxillaires, supérieur à celui prédit). Cependant, bien que toutes les différences furent statistiquement significatives, elles n'étaient pas suffisamment importantes pour être <b>cliniquement pertinentes</b> (excepté le torque des 2<sup>ème</sup> molaires maxillaires).</i></li> <li>- <i>Invisalign est en mesure d'atteindre les positions prédites des dents avec précision dans les cas sans</i></li> </ul>

	<p>extraction. Cependant, l'<b>expansion de l'arcade maxillaire</b> et le <b>torque molaire</b> peuvent ne pas être complètement atteints, l'excès de torque coronaire des 2<sup>èmes</sup> molaires maxillaires traduisant un mouvement de tip des molaires, plutôt qu'un mouvement de translation complète de la dent.</p>
<p><b>2017</b></p> <p><b>n°12</b></p> <p>Predictability of orthodontic movement with orthodontic aligners<sup>44</sup>, Lombardo</p>	<p><i>Évaluer l'efficacité des « F22 aligners » sur les différents mouvements orthodontiques.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Étude rétrospective sur <b>16 patients adultes</b> (dents = 345) traités entre 2014 et 2017, dont l'encombrement est inférieur à 5mm et dont les rotations ne dépassent pas 35°, sans aides auxiliaires (seuls les taquets et les RIP sont utilisés).</li> <li>- Analyse des modèles 3D pré-traitement, prédit (post-traitement idéal) et obtenus (modèle clinique) via le logiciel <b>VAM (Vectra)</b>.</li> <li>- 100 points de référence ont été placés afin de mesurer les mouvements de : <b>rotation, tip mésio-distal, tip vestibulo-lingual</b> (le maximum de mouvement prévu étant de 2° de rotation, 2,5° de mouvement vestibulo-lingual et mésio-distal et 0,2mm de translation par aligneur)</li> <li>- Ces 100 points ont été analysés en fonction d'un <b>plan de référence</b> (basé sur le plan occlusal) défini par les cuspides mésio-vestibulaire des 1<sup>ères</sup> molaires et le centroïde de tous les points occlusaux des FACC (facial axis of clinical crown = grand axe des couronnes dentaires) de toutes les incisives et prémolaires.</li> <li>- La précision du mouvement a été calculé selon l'équation : <math display="block">\text{Précision} = \frac{\text{résultats obtenus} - \text{situation initiale}}{\text{résultats prédits} - \text{situation initiale}}</math> <p>Ainsi plus le résultat est proche de 1, plus la précision est élevée.</p> </li> </ul> <p>- Mis à part le <b>mouvement mésio-distal des canines, prémolaires, molaires et le mouvement vestibulo-lingual des molaires</b>, tous les autres mouvements ont montré une précision significativement inférieure à 100% à l'arcade maxillaire.</p> <p>Au contraire à la mandibule, pour tous les mouvements, il n'y a pas eu de différence significative de précision avec les mouvements initialement prévus, excepté pour le <b>mouvement vestibulo-lingual des canines et la rotation des canines et incisives</b>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Parmi les trois mouvements étudiés, le mouvement <b>le plus précis</b> a été le mouvement mésio-distal : 82,5%, puis le mouvement vestibulo-lingual (72,9%) et la rotation (66,8%)(la <b>moyenne générale</b> de précision calculée à travers tous les mouvements de toutes les dents a été de 73,6%)</li> <li>- En fonction des dents, le mouvement <b>le moins précis</b> a été la rotation des canines mandibulaires (54,2%). À l'opposé le mouvement <b>le plus précis</b> a été le tip mésio-distal des molaires maxillaires et prémolaires mandibulaires (93,4%; 96,7%).</li> <li>- Dans cette étude, l'utilisation du <b>plan occlusal</b> comme plan de référence est un élément stable, au maxillaire et à la mandibule, et permet de diminuer les erreurs de mesures dues au déplacement des</li> </ul>

	dents. La fiabilité de cette méthode a été démontrée pour des mouvements supérieurs à 2°, éliminant les mesures et les erreurs systématiques.
2017	<i>Évaluer l'efficacité, l'efficacité et la stabilité dans le temps des fins de traitements Invisalign, et en comparaison au système multi-attaches.</i>
n°13	<i>Revue systématique de la littérature, sans limite dans le temps, sur 4 essais cliniques contrôlés regroupant 252 patients.</i>
Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligner <sup>14, Zheng</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Il n'y a pas de preuves valables justifiant la remise en cause de l'efficacité des traitements par aligneurs qui est parfois faite aujourd'hui.</li> <li>- Les seules différences significatives des traitements par aligneurs par rapport aux systèmes conventionnels - appuyées par les preuves actuelles - sont un <b>temps de traitement et un temps au fauteuil raccourcis</b> dans les cas de malocclusions légères à modérées.</li> <li>- Des essais randomisés contrôlés et d'une plus grande puissance sont attendus afin de pouvoir tirer des conclusions basées sur la preuve.</li> </ul>
2018	<i>Déterminer la précision des aligneurs Invisalign</i>
n°14	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Étude rétrospective sur 20 cas adultes (398 dents) de Classe I, ayant besoin d'un deuxième jeu d'aligneurs de « finition ».</i></li> <li>- <i>Les modèles prédits et initiaux ont été obtenus par le ClinCheck, et les modèles réalisés ont été tirés de la première empreinte du jeu de « finition ». Les modèles prédits et réalisés ont été superposés sur le modèle initial en utilisant les dents postérieures stables, grâce au logiciel Slicer CMF.</i></li> <li>- <i>Le taux de mouvement réalisé a été comparé au taux de mouvement prédit pour chacun des mouvements : <b>verticaux, horizontaux, transversaux et rotationnels.</b></i></li> <li>- <i>L'étude montre que les mouvements <b>horizontaux</b> ont été les mouvements les plus précis (pas de différence significative entre mouvements prédits et réalisés concernant les mouvements horizontaux de toutes les incisives).</i></li> <li>- <i>À l'inverse, les mouvements <b>verticaux</b> sont partagés entre <b>l'égression</b> (précis, pas de différence significative), et <b>l'ingression</b> : elle a été le mouvement linéaire le moins précis.</i></li> <li>- <i>Les <b>rotations</b> ont été significativement moins précises que celles prédites (les canines maxillaires ayant la plus grande différence (3,05°) et prémolaires maxillaires la plus petite (0,9°)).</i></li> </ul>
Accuracy of clear aligners: A retrospective study of patients who needed refinement <sup>45, Charalampakis</sup>	
2018	<i>Évaluer l'efficacité du système d'aligneurs Nuvola® dans le contrôle du mouvement de torque du secteur antérieur.</i>
n°15	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Étude rétrospective sur 39 cas adultes, présentant jusqu'à 6mm d'encombrement et sans indication d'extraction.</i></li> <li>- <i>Le système <b>Nuvola</b>® fonctionne par phase de maximum 12 aligneurs. A la fin de chaque phase il est</i></li> </ul>
Movement of	

<p>anterior teeth using clear Aligners<sup>46</sup>, Tepedino</p>	<p><i>nécessaire de prendre une nouvelle empreinte afin de continuer le traitement.</i></p> <p>- A l'aide du logiciel <b>VAM (Vectra)</b>, les modèles pré-traitement, prédits (ClinCheck) et obtenus (à la fin de la 1<sup>ère</sup> phase de 12 aligneurs) ont été analysés. Le <b>plan de référence</b> a été construit entre 3 points : la papille palatine inter-incisive et la limite gingivale linguale du grand axe des couronnes dentaires des 1<sup>ères</sup> molaires droite et gauche.</p> <p>- 12 autres points ont été construits (limites occlusales et gingivales des grands axes des incisives centrales, latérales et des canines). Le mouvement de <b>torque</b> a ensuite été mesuré via l'inclinaison de ces points par rapport au plan de référence.</p> <p>- <b>Pas de différence significative</b> de mouvement entre celui qui a été prédit et celui qui a été réalisé.</p> <p>- Des traitements par étape de 12 aligneurs permettraient un mouvement de <b>torque</b> prédictible.</p>
<p><b>2018</b></p> <p><b>n°16</b></p> <p>Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment<sup>16</sup>, Papadimitriou</p>	<p><i>Évaluer l'efficacité basée sur la preuve des traitements Invisalign®</i></p> <p><i>Revue systématique de la littérature jusqu'à 2017 dans laquelle 22 articles ont été analysés.</i></p> <p>- Invisalign est reconnue comme une <b>alternative thérapeutique adaptée</b> pour la correction des malocclusions légères à moyenne, sans extraction, chez les patients ayant fini leur croissance.</p> <p>- Mais le reste des conclusions ne peut s'appuyer sur des bases scientifiques solides étant donnée l'hétérogénéité des études présentes, toutefois il en ressort :</p> <p>→ Invisalign semble traiter <b>plus rapidement</b> les cas de malocclusion légère sans extraction, mais requiert plus de temps que la technique fixe pour le traitement des cas complexes</p> <p>→ Invisalign peut, de façon prévisible, niveler, aligner, basculer et verser les dents (à l'exception des canines et prémolaires)</p> <p>→ <b>L'efficacité diminue</b> lors de mouvements comme l'expansion par translation, la fermeture des espaces d'extraction, la correction des contacts occlusaux et les décalages antéro-postérieurs et verticaux importants.</p>
<p><b>2019</b></p> <p><b>n°17</b></p> <p>A Prospective Comparative Study between the Software Models and Clinical Models of Clear Aligner Treatment<sup>47</sup>, Izhar</p>	<p><i>Comparer les résultats prédits avec les résultats obtenus à différents moments du traitement</i></p> <p>- <i>Étude prospective comparative sur 10 cas d'encombrement léger à modéré du secteur antérieur mandibulaire.</i></p> <p>- <i>Des empreintes PVS ont été réalisées à différentes étapes du traitement, puis scannées afin d'être converties en fichier STL.</i></p> <p>- <i>Pour chaque étape, afin de mesurer les écarts possibles, le modèle 3D clinique a été superposé avec le modèle 3D du ClinCheck correspondant, à l'aide du logiciel Meshlab. La superposition s'est faite via des points fixes au niveau prémolaires et molaires, le secteur postérieur n'ayant pas été déplacé.</i></p> <p>- <i>L'efficacité de la résolution de l'encombrement, la rotation et l'alignement des dents antérieures ont été mesurés, selon l'équation :</i></p>

$$\text{Pourcentage d'efficacité} = 100\% - \left( \frac{\text{résultats prédits} - \text{résultats obtenus}}{\text{résultats prédits}} \right) \times 100\%$$

- La précision moyenne a été de **78%**.
- Les **résultats prédits ne correspondent pas** précisément aux résultats obtenus : aux différentes étapes du traitement, le modèle numérique présentait plus de changements que le modèle clinique.
- Il faudra donc, lors de la planification du traitement, savoir anticiper le résultat et inclure une **sur-correction**.

**2019**

*Analyser les publications évaluant la précision et l'efficacité des mouvements dentaires lors d'un traitement Invisalign®*

**n°18**

*Revue systématique de la littérature sur 20 articles entre 2007 et 2017*

*A systematic review of the accuracy and efficiency of dental movements with Invisalign<sup>20</sup>, Galan-Lopez*

- Les mouvements prédits ne sont pas totalement réalisés avec Invisalign® : les **mouvements verticaux** et les **rotations** sont des mouvements difficiles à effectuer avec les aligneurs. L'inclinaison **vestibulo-linguale** et les **contacts occlusaux** ont de meilleurs résultats avec la technique fixe. Le contrôle du **torque** est de meilleure qualité avec la technique fixe.
- Invisalign® et technique fixe sont capables de modifier les largeurs intercanine, interprémolaires et intermolaires.
- Dans les deux techniques, le **sexe et l'âge** influencent les mouvements dentaires.
- Avec Invisalign, la majorité du mouvement est réalisé lors de la **1<sup>ère</sup> semaine**.
- Il est possible de traiter un grand nombre de cas avec les aligneurs, allant jusqu'aux malocclusions complexes, mais les résultats seront à priori moins précis qu'en technique fixe.

**2020**

*Analyser l'efficacité des aligneurs en évaluant leur prédictibilité d'une part, et en comparant leurs résultats avec ceux d'un traitement multi-attaches d'autre part.*

**n°19**

*Revue de littérature sur 7 articles entre 2014 et 2019, concernant la prédictibilité des mouvements par aligneurs, ou la comparaison avec un système multi-attaches.*

*Effectiveness of clear aligner therapy for orthodontic treatment: A systematic review<sup>48</sup>, Robertson*

- La plupart des mouvements ne sont pas suffisamment prévisibles, sauf les **mouvements horizontaux** peu importants.
- Il y a une amélioration de la précision de **l'égression des dents antérieures**.
- La plupart des mouvements ne sont pas assez prévisibles pour être réalisés avec un seul jeu de gouttières, c'est pourquoi des **aligneurs supplémentaires de finitions** sont quasiment nécessaires dans tous les cas pour pallier ce manque de précision.
- L'efficacité des traitements par aligneurs est prouvée pour certains mouvements (niveau de certitude faible à modéré) mais l'ensemble des différentes malocclusions qu'il est possible de traiter n'a pas été évalué par les études incluses.

<p><b>2020</b></p> <p><b>n°20</b></p> <p><i>Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign<sup>49</sup>, Haouili</i></p>	<p><i>Mise à jour sur l'efficacité des mouvements avec Invisalign à l'aide d'une étude prospective</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Étude clinique prospective incluant <b>38 patients</b> (29 cas traités en « Full » et 9 cas traités en « Teen », 22 Classe I, 13 Classe II, 3 Classe III) sur 8,5 mois en moyenne et 20 aligneurs par arcade en moyenne. Les mouvements étudiés sont le <b>mouvement mésio-distal</b>, le <b>mouvement vestibulo-lingual</b>, <b>l'égression</b>, <b>l'ingression et la rotation</b>, mais pas le torque.</li> <li>- Le ClinCheck initial a été segmenté en dents individuelles. Pour obtenir les valeurs des mouvements prédits, ces dents individuelles ont été superposées sur le ClinCheck final à l'aide d'un algorithme de « meilleure adaptation » via le logiciel <b>Compare (GeoDigm)</b>.</li> <li>- Les valeurs des mouvements obtenus ont été mesurées en superposant dents individuelles du ClinCheck initial - empreinte optique post-traitement, et en suivant la formule : <math display="block">\text{Pourcentage de précision} = 100\% - \left( \frac{\text{résultats prédits} - \text{résultats obtenus}}{\text{résultats prédits}} \right) \times 100\%</math> </li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La moyenne générale de précision pour tous les mouvements était de <b>50%</b> (moyenne la plus élevée pour le tip vestibulo-lingual (56%) et la plus faible pour la rotation (46%)(mouvement toujours difficile pour les dents rondes)).</li> <li>- Faible efficacité pour la rotation distale de la canine (37%), l'ingression des incisives centrales maxillaires et mandibulaires (33 et 34%) et la <b>rotation mésiale de la 1<sup>ère</sup> molaire mandibulaire</b> (28%). En outre le mouvement le plus précis est le mouvement <b>lingual des incisives latérales</b> maxillaires avec 70% du résultat prédit réalisé.</li> <li>- <b>L'égression des incisives et l'ingression des molaires</b> sont améliorées mais l'ingression des incisives et l'égression des molaires restent difficiles. Cela suggère qu'Invisalign serait plus efficace dans la fermeture de béances que dans le traitement des supraclusions.</li> <li>- Malgré une nette <b>amélioration de l'efficacité</b> depuis les anciennes études (cf. Kravitz<sup>36</sup>) les forces et les faiblesses de la technique restent à peu près les mêmes.</li> <li>- La méthode de mesure utilisée pourrait sous-estimer l'efficacité, une moyenne de 50% serait donc un minimum.</li> </ul>
<p><b>2020</b></p> <p><b>n°21</b></p> <p><i>Treatment efficacy of Invisalign<sup>50</sup>, Tsai</i></p>	<p><i>Actualiser les connaissances sur l'efficacité d'Invisalign</i></p> <p><i>Revue de littérature sur 25 articles entre 2000 et 2018, traitant de l'efficacité des aligneurs</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suite aux <b>avancées technologiques</b> et aux meilleures connaissances dans l'utilisation des aligneurs Invisalign, des résultats comparables avec la méthode fixe ont été réalisés, sauf pour le <b>mouvement vestibulo-lingual</b> et les <b>contacts occlusaux</b>.</li> <li>- La <b>précision varie</b> pour chacun des mouvements. L'utilisation convenable du ClinCheck, des accessoires,</li> </ul>

et une bonne connaissance de la mécanique est nécessaire pour accomplir des mouvements complexes. Cependant, la meilleure précision concerne **l'expansion** (maxillaire: 72,8% ; mandibulaire : 87,7%) et la **distalisation des molaires** (87%). La rotation des dents rondes et le contrôle du recouvrement ne se sont pas révélés être précis. Enfin, la **sur-correction** est recommandée pour certains mouvements (égression, ingression, tip, torque, expansion) mais la sur-expansion est à utiliser avec prudence car elle pourrait avoir des conséquences sur le parodonte.

## Synthèse

### *Efficacité des mouvements*

Ainsi les études incluses nous permettent d'analyser l'efficacité des mouvements par aligneurs, leur évolution, et plus précisément quels mouvements sont susceptibles de rencontrer des difficultés lors d'un traitement. Les études de 2004, 2006, 2009 sont évidemment peu pertinentes lors d'une analyse à l'heure actuelle, mais celles-ci nous permettent de mettre en valeur l'évolution de l'efficacité des mouvements :

#### **Général**

Dans la totalité des études analysées l'occlusion générale du patient a été améliorée. Que ce soit une amélioration du score occlusal<sup>34, 38</sup> (excepté une étude<sup>42</sup>) ou par la mesure de l'efficacité de l'ensemble des mouvements générés par l'aligneur : celle-ci ayant évolué au cours du temps, passant de **41%** en 2009 dans une étude<sup>36</sup> sur des mouvements localisés uniquement en antérieur, à 50% en 2020<sup>49</sup>, et avec des valeurs variant entre 57%<sup>39</sup> et **78%**<sup>47</sup>.

#### **Contacts occlusaux et relation occlusale**

Selon deux études<sup>1, 38</sup>, la technique n'est pas assez efficace pour corriger les anomalies antéro-postérieures et les contacts occlusaux.

#### **Alignement**

Quatre études<sup>1, 16, 37, 38</sup> déduisent que les aligneurs sont efficaces afin d'atteindre les objectifs d'alignement requis, ainsi que le nivellement des crêtes marginales.

#### **Expansion**

L'expansion est un des mouvements **les plus précis**, parfois même en excès, cela pouvant compromettre la stabilité du traitement<sup>34</sup>. Récemment, Charalampakis<sup>45</sup> a conclu à une meilleure précision de l'expansion mandibulaire (96%) qu'au maxillaire (77,5%). Tsai<sup>50</sup> appuie cette conclusion 2 ans plus tard (maxillaire : 72,8% ; mandibulaire : 87,7%).

### Mouvement vertical

Les mouvements verticaux sont difficiles à réaliser avec les aligneurs et sont toujours assez peu précis. En 2012 Krieger<sup>37</sup> ne révèle pas de différence significative entre les **mouvements prédits et les mouvements réalisés**, sauf pour le **recouvrement** : selon lui les mouvements verticaux sont plus difficiles à réaliser (que les mouvements transversaux et sagittaux) et il sera recommandé de placer des **taquets** (horizontaux dans la zone prémolaire, appliqués bilatéralement pour augmenter la rétention de l'aligneur), utiliser des **élastiques verticaux**, ou encore de prévoir une **sur-correction** en cas de mouvements verticaux importants. Finalement, Haouili<sup>49</sup> suggère que **l'égression des incisives et l'ingression des molaires** sont améliorées mais **l'ingression des incisives et l'égression des molaires** restent difficiles. Invisalign serait plus efficace dans la fermeture de béances que dans le traitement des supraclusions :

#### → Ingression

Les résultats concernant l'ingression sont mitigés : selon Kravitz en 2009<sup>36</sup>, Invisalign n'est pas recommandé pour la correction de **supraclusions importantes**. Aileen<sup>1</sup> recommande par la suite une sur-correction (Fig.28) pour le traitement des supraclusions, les **dents antérieures** étant positionnées de manière **plus occlusale** que prévu<sup>43</sup>. Rossini<sup>41</sup>, est le seul auteur en 2015 à conclure que le système est efficace pour les **ingressions antérieures** et le recommande pour le traitement des supraclusions légères. En 2018, Charalampakis<sup>45</sup> déclare que l'ingression des incisives est très peu précise (incisives mandibulaires : 26% ; canines 51%). Récemment,

Haouili<sup>49</sup> calcule une précision de ce mouvement (ingression des incisives centrales antérieures) d'environ **33%**, **ce qui reste assez faible**, avec ainsi une perte de  $\frac{3}{4}$  de l'information.



#### → Égression

En 2009<sup>36</sup>, Kravitz calcule une efficacité d'**égression** à 29,6%, selon lui, l'égression est le mouvement le moins précis, avec un déplacement de 0,56mm en moyenne, pouvant ainsi se limiter au traitement de béances antérieures par extrusion incisive <1,5mm. Longtemps mis à mal (mouvements d'égression antérieure peu efficaces jusqu'en 2015<sup>41</sup>), Charalampakis<sup>45</sup> conclut en 2018 que l'égression des dents antérieures maxillaires est un **mouvement efficace** (aucune différence significative avec les résultats prédits) et la revue de littérature de 2020<sup>48</sup> observe également une amélioration du mouvement d'égression des dents antérieures. En effet l'apparition des taquets optimisés d'égression, les connaissances biomécaniques de ce mouvement (Fig.29) on permit **l'amélioration de ce mouvement**, et, en 2020, Haouili<sup>49</sup> calcule une **efficacité de 55%**.

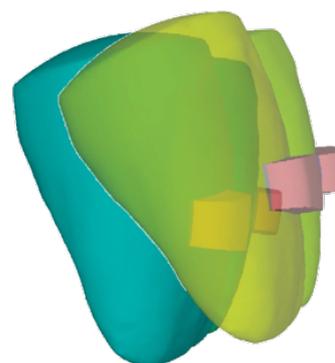


Fig.29. Illustration d'une **égression relative** : on sait maintenant que l'association de l'égression avec un mouvement plus précis comme la palato-version, permet d'améliorer l'efficacité du mouvement.<sup>36</sup>

### **Mouvement horizontal**

Le mouvement horizontal est le **mouvement le plus précis** selon de nombreuses études<sup>1,36,38,41,44,45</sup>. En 2009, Kravitz<sup>36</sup> calcule une efficacité de la version vestibulaire de 40% (2020<sup>49</sup>: 54%) et linguale 47,1% (2020<sup>49</sup>: 57%). En 2017 une étude<sup>44</sup> suggère que le mouvement **le plus précis** a été le mouvement mésio-distal (82,5%) et le mouvement vestibulo-lingual (72,9%). En 2018, une autre étude<sup>45</sup> suggère également une efficacité élevée que ce soit au maxillaire (77,5%) comme à la mandibule (91,5%).

La **version linguale** des dents s'est révélée plus précise que la version vestibulaire, en particulier pour les incisives (centrales maxillaires et latérales)<sup>1,36</sup>.

La **distalisation de la molaire maxillaire** est également un mouvement très précis (93,4%<sup>44</sup>, 88,4%<sup>40</sup>, 87,7%<sup>50</sup>, 88%<sup>41</sup>) sur au moins 1,5mm<sup>41</sup>. Ainsi que le mouvement mésio-distal des prémolaires mandibulaires (96,7%<sup>44</sup>) et des incisives (mandibulaires (87,7%<sup>44</sup>), maxillaires (70%<sup>49</sup>)).

Simon<sup>41</sup> appuie en 2015 sur le fait que de meilleurs résultats (NS) ont été obtenus à l'aide de taquets, et que le staging est important lors de la planification du traitement.

### **Torque**

Le mouvement de torque est un mouvement controversé. Simon<sup>40</sup> calcule une efficacité du torque incisif de **50%** en 2014. Un an après, Rossini<sup>41</sup> conclut que le contrôle du **torque postérieur** est efficace, mais pas en **antérieur**. Cependant en 2017, Grünheid<sup>43</sup> observe un excès de torque des 2<sup>èmes</sup> molaires maxillaires,

traduisant un excès du mouvement de tip des molaires, plutôt qu'un mouvement de torque complet de la dent. Finalement en 2018<sup>46</sup>, une étude ne démontre **pas de différence significative** de mouvement de torque entre celui qui a été prédit et celui qui a été réalisé (mais celle-ci utilise les aligneurs Nuvola® et ne peut être comparée avec d'autres aligneurs).

### **Rotation**

La rotation est le mouvement **le moins précis** à effectuer à l'aide des aligneurs. Dès 2009, Kravitz<sup>36</sup> déclare que la rotation, et plus particulièrement la rotation canine (30%) (2020<sup>49</sup>: 37%), est un mouvement complexe et a été significativement inférieur à la rotation des autres dents.

En 2013, Aileen<sup>1</sup> suggère que le système est efficace pour les rotations antérieures, mais pas pour les **rotations >15°** (l'efficacité de la rotation canine maxillaire est réduite de moitié<sup>36</sup>), et au-delà de **1,5° de rotation par aligneur**<sup>40</sup> (importance du staging!).

Le système est également moins efficace lorsque la couronne clinique de la dent à déplacer est **anatomiquement ronde**<sup>41, 43</sup>, ce qui rend évident l'utilisation de taquets adaptés dans ces cas de figure. Ainsi, une **sur-correction** (Fig.30) est fortement recommandée<sup>40</sup> si des rotations importantes sont envisagées. Boyd<sup>26</sup> recommande une **sur-correction de 10%** pour la rotation des canines et des prémolaires, mais selon les résultats de l'étude<sup>36</sup> de Kravitz, des **sur-corrections plus importantes** devraient être indiquées. En 2017, une étude<sup>44</sup> calcule une efficacité de la rotation de 66,8%, et le mouvement **le moins précis** est toujours la

rotation des canines mandibulaires (54,2%). Même si l'efficacité augmente au cours du temps, les **rotations** sont toujours significativement moins précises que celles prédites<sup>45</sup> (57% à 76%). L'étude d'Haouili<sup>49</sup> en 2020 évalue la précision des rotations à **46%** : ceci implique une perte de la moitié de l'information.

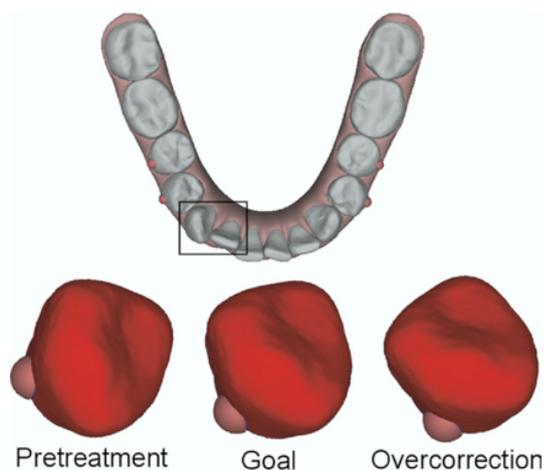


Fig.30. Illustration d'une **sur-correction** : selon Boyd<sup>26</sup>, elle est nécessaire pour les mouvements de rotation, de torque, dans la correction des fermetures d'espaces et des supraclusions importantes.<sup>36</sup>

Ainsi, toutes les études s'accordent à dire qu'Invisalign est très précis concernant la correction de **l'encombrement et de l'alignement antérieur faibles à moyens en Classe I, sans extraction, chez des patients sans potentiel de croissance**. Le système peut, de façon prévisible, niveler, aligner, basculer les dents, cependant l'efficacité du système est largement discutée concernant la correction des **supraclusions importantes** et des **anomalies occlusales antéro-postérieures**. L'efficacité diminue lors de mouvements comme la fermeture des espaces d'extraction, la correction des contacts occlusaux

et les décalages antéro-postérieurs et verticaux importants.

Évidemment, les résultats réalisés dans les études analysées sont un minimum, les mouvements obtenus étant ceux réalisés **sans phase de finition**, avec respect du ClinCheck initial **sans modifications**, ajout de RIP ou de sur-corrections.

Sur la base de ces résultats, l'utilisation de **taquets supplémentaires**, de **sur-corrections**, **l'ajout d'éléments auxiliaires** a été largement suggéré dans la littérature pour l'amélioration des mouvements.

Ainsi, les résultats obtenus pouvant différer des résultats prédits : la connaissance de l'efficacité, plus ou moins précise, en fonction des mouvements, des dents, des directions, de leur importance, et de leur répartition au cours du temps, permet au praticien d'intégrer les compensations nécessaires dans le plan de traitement virtuel. **Ses connaissances** lui permettront ainsi de contrebalancer les faiblesses du système, en jouant lors de **l'optimisation de son ClinCheck**, entre sur-correction, design des taquets, staging pertinent, ajout d'éléments auxiliaires, etc.

### Discussion sur l'analyse

En dehors de ces mouvements, le nombre de patients recrutés varie de 10<sup>47</sup> à 50<sup>37</sup>. L'âge, lui, varie de 15<sup>37</sup> à 64<sup>39</sup>ans, avec un âge moyen entre 22<sup>43</sup> et 37<sup>45</sup> ans pour de nombreuses études<sup>36,37,38,39,43,44,45,49</sup>, et un âge supérieur à 18ans pour d'autres<sup>35,46</sup>. Cela révèle un **manque d'informations concernant les adolescents**. Notre analyse peut tirer des conclusions uniquement sur

les patients sans potentiel de croissance, et elle montre qu'Invisalign est une option de traitement privilégiée pour les adultes avec des exigences esthétiques plus élevées. Une seule étude<sup>39</sup> développe l'efficacité de la méthode en fonction de l'âge.

Concernant la durée de traitement à l'aide des aligneurs, 4 études<sup>14,16,42,43</sup> ont conclu que cette solution propose un **temps de traitement plus court**, et un **temps au fauteuil raccourci** (en comparaison avec un traitement fixe conventionnel) **dans les cas de malocclusion légère sans extraction**, avec un temps de traitement moyen de 11mois, selon Grünheid<sup>43</sup>.

Bien que plus de la moitié des études incluses dans l'analyse aient été publiées dans les 5 dernières années (2015-2020), les résultats doivent être interprétés avec précaution ; en effet l'amélioration du système Invisalign est constante (notamment en 2013 avec le matériau SmartTrack® et en 2016 avec l'optimisation des taquets selon la mise à jour G7) et la comparaison entre les études anciennes et les plus récentes est souvent délicate. Certaines études<sup>40</sup> sortent par exemple juste avant le développement d'avancées (cf. SmartTrack®) dans ce domaine.

Malheureusement, il manque de publications valables, et peu de conclusions basées sur la preuve peuvent aujourd'hui être déduites en raison des différents biais présents, du manque de puissance dans les études. Des essais randomisés contrôlés sont attendus à l'avenir pour une meilleure preuve clinique.

### **Méthode de superposition**

Finalement, la méthode des études analysées s'est basée sur la mesure de modèles pré et post-traitement, ainsi que de modèles numériques de ClinCheck initiaux et finaux. Le PAR Index<sup>34</sup>, l'ABO-MGS<sup>38</sup> et la superposition numérique à l'aide de logiciels (Compare<sup>43,49</sup>, Slicer CMF<sup>45</sup>, VAM<sup>44, 46</sup>, MeshLab<sup>42, 47</sup>, Surfacer<sup>40</sup>, ToothMeasure<sup>35, 36, 37, 39</sup>) ont été utilisés afin d'effectuer les mesures dans ces études.

Les **indices occlusaux** sont pertinents dans l'évaluation de l'amélioration d'un cas, et constater si l'occlusion réalisée correspond aux standards actuels d'un traitement orthodontique correctement conduit. Mais ces indices ne permettent de quantifier précisément les mouvements réalisés, que ce soit en mm ou en degré, et dans les 3 sens de l'espace. Les **mesures numériques** à l'aide de logiciels sont par ailleurs plus pertinentes, et nous offrent plus d'informations et de précisions sur les mouvements réalisés.

Ainsi les méthodes de superposition utilisées dans les études seront gage de précision dans les résultats obtenus. Différentes méthodes ont été mises en place. Certaines études<sup>36,39,40,45,47</sup> ont effectué une **superposition sur les dents stables**, non traitées ; généralement les dents postérieures. D'autres par rapport au **plan occlusal**<sup>37</sup>, ou par rapport à un **plan de référence** proche du plan occlusal<sup>44, 46</sup>, ou encore via un **algorithme de meilleure adaptation** entre les deux modèles<sup>35,43,49</sup>.

Concernant ces éléments de référence pour la superposition, certaines études<sup>52</sup> montrent que les rugae palatines sont des structures stables et

permettent la superposition. Mais cette technique n'est valable que pour le maxillaire. D'autres études<sup>36,40</sup> utilisent comme points de référence les dents stables, non déplacées pendant le traitement, mais cela est valable uniquement pour les traitements ne déplaçant que certaines dents. De plus, les dents n'étant « pas déplacées » sont toujours soumises à des effets collatéraux, via un

ancrage, une expansion, ou encore une légère ingression par le port des gouttières.

Ainsi, nous allons développer un cas clinique traité au CHU de Nice, dans lequel nous ferons la présentation d'une méthode de superposition reproductible et valable au maxillaire ainsi qu'à la mandibule, lors d'un traitement de l'ensemble des dents.

Très prédictible <i>Patients avec des couronnes cliniques importantes et en fin de croissance</i>	Prédictibilité moyenne	Peu prédictible <i>Couronnes cliniques de petite taille</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expansion vestibulo-linguale</li> <li>- Alignement du secteur antérieur</li> <li>- Extraction des incisives mandibulaires</li> <li>- Distalisation des molaires sur 1,5mm</li> <li>- Occlusion inversée &lt;1,5mm (non squelettique)</li> <li>- Rotation &lt;1,5° par aligneur</li> <li>- Correction de béances antérieures &lt;1,5mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distalisation des dents postérieures &gt; 3mm ou qui nécessite des élastiques de Classe II</li> <li>- Mésialisation des dents postérieures (extraction prémolaire)</li> <li>- Patients ayant des problèmes parodontaux</li> <li>- Occlusion inversée &gt;1,5mm (non squelettique)</li> <li>- Rotation &gt;1,5° par aligneur</li> <li>- Correction de béances antérieures par égression et rétraction &gt;1,5mm</li> <li>- Supraclusion légère</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rotations sévères des prémolaires et canines mandibulaires</li> <li>- Égression importante sans rétraction</li> <li>- Supraclusion importante</li> <li>- Torque des racines</li> <li>- Jeunes adolescents (&lt;14ans) : manque de données</li> </ul>

Fig.31. Tableau de prédictibilité, en fonction des mouvements et des corrections souhaités

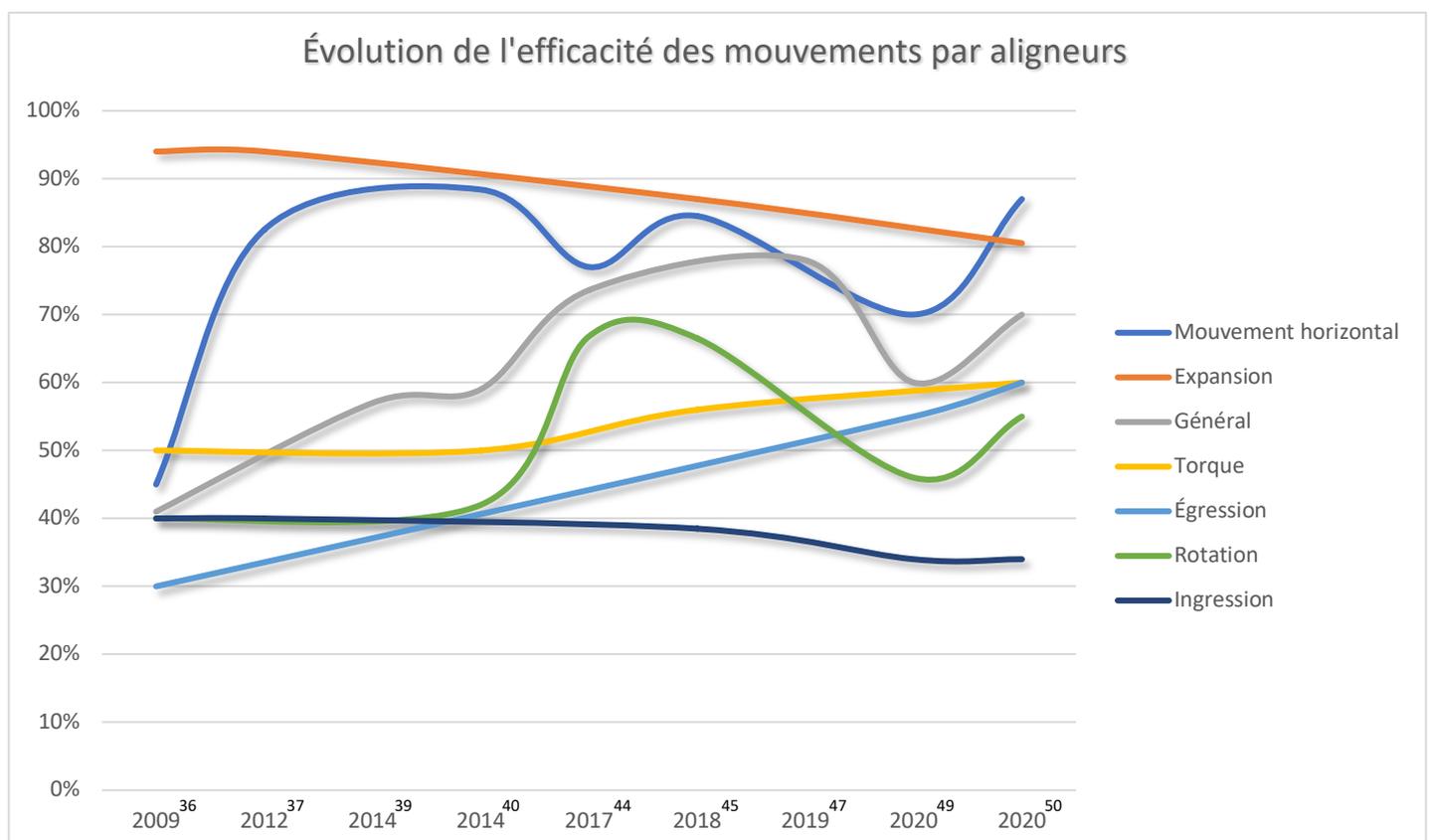


Fig.32. Graphique évaluant l'évolution de l'efficacité des mouvements par aligneurs au cours des études

#### 3.1 | Présentation du cas

La patiente se présente au service d'odontologie de l'hôpital Saint-Roch de Nice en mars 2017, à l'âge de 22 ans. Elle souhaite corriger son occlusion et surtout améliorer l'esthétique de son sourire.



*Fig.33. Examen photographique pré-traitement, mars 2017.*

### 3.1 | Analyse du cas

Les différents examens nous révèlent :

#### Examen exo-buccal :

- **De face** : Symétrie des hémifaces / Lignes remarquables parallèles et perpendiculaires au plan sagittal médian
- **Sourire** : Milieu inter-incisif maxillaire centré sur le plan sagittal médian / Sourire étroit disharmonieux avec de larges corridors latéraux
- **De profil** : Profil relativement plat / Angle naso-labial ouvert / Position correcte des lèvres / contact bi-labial au repos / Sillon labio-mentonnier correct / Distance cervico-mentonnière très légèrement réduite / Hauteur de l'étage inférieur de la face augmentée

#### Examen endo-buccal :

- **Général** : Denture adulte / Hygiène correcte / Parodonte fin / Freins corrects
- **Intra-arcade** :
  - **Mandibule** : Forme parabolique / Encombrement antérieur (6mm) / Légères mésio-rotations des 34, 35 et 44.
  - **Maxillaire** : Forme en U / Palais large / Encombrement antérieur / 12 étroite, 22 riziforme / Disto-rotation de la 13
- **Inter-arcades** :
  - **Transversal** : rapports transversaux corrects / décalage des lignes inter-incisives de 2mm (origine mandibulaire vers la droite)
  - **Vertical** : Supraclusion antérieure
  - **Sagittal** : Surplomb correct
    - Classe d'Angle II partielle molaire et canine à droite → Classe II subdivision droite
    - Classe I molaire et canine à gauche

#### Examen fonctionnel :

- Aucune parafonction (HSNN), dysfonction (ventilation, déglutition, mastication) ou problème articulaire (ATM).

#### Examen radiographique panoramique :



Fig.34. Radiographie panoramique

## Examen céphalométrique :

- Schéma squelettique de Classe II de Ballard (légère), sur un schéma à tendance hypodivergente.
- Incisives maxillaires trop palatines et trop à la verticale.
- Bi-rétro-alvéolie.

- ① SNA : 82.97°
- ② SNB : 78.53°
- ③ ANB : 4.44°
- ④ Occ / SN : 12.15°
- ⑤ GoGn / SN : 27.57°
- ⑥ I/NA : 0.89mm
- ⑦ I/NA : 15.84°
- ⑧ i/NB : 2.8mm
- ⑨ i/NB : 21.21°
- ⑩ i/I : 138.5°

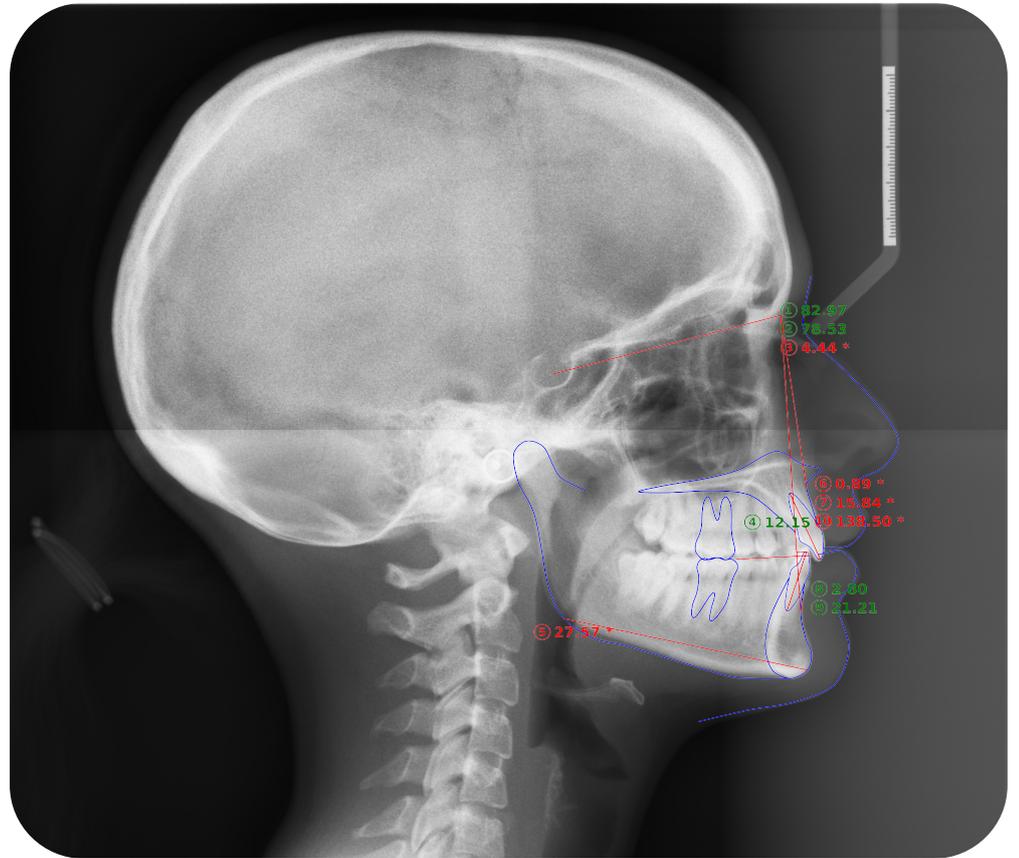


Fig.35. Téléradiographie de profil et tracé céphalométrique

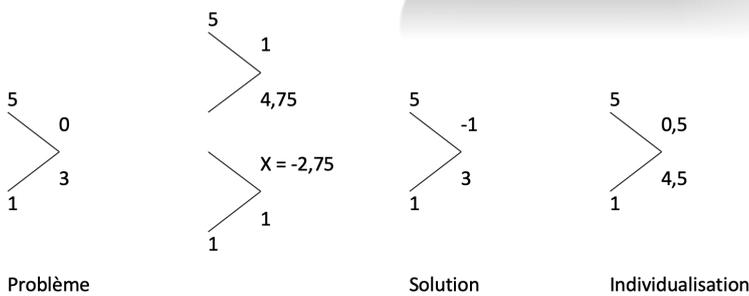


Fig.36. Chevrons

	+	-
Encombrement		-5
Repositionnement incisive		
Courbe SPEE		-2
<b>DDM</b>		<b>-7</b>
Repositionnement 6		
Espace dérive mésiale		
<b>TOTAL</b>		<b>-7</b>
Extraction / stripping	4	
Individualisation	3	
<b>NET</b>	<b>7</b>	<b>-7</b>

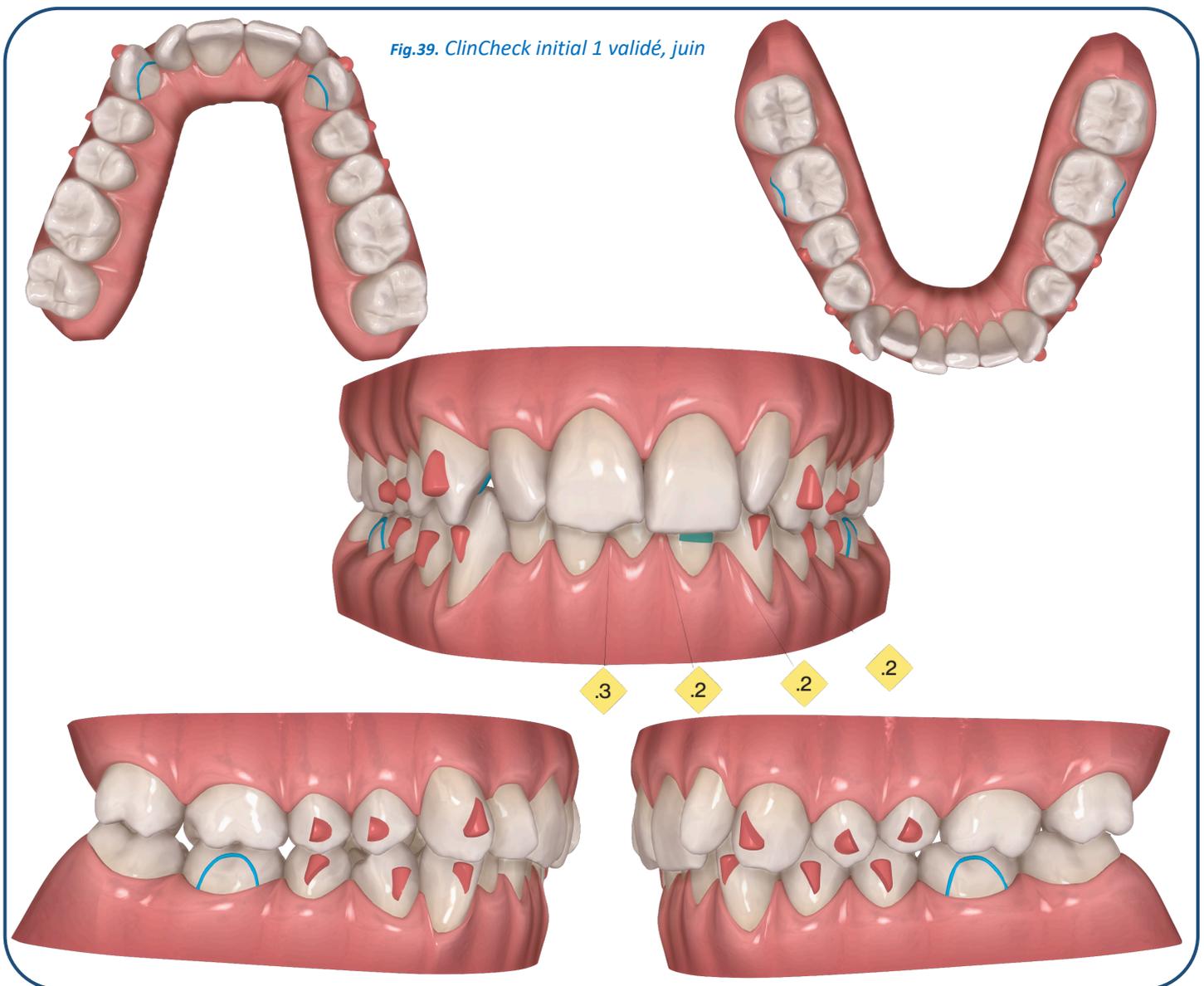
Fig.37. Boîte de Steiner

	Squelettique	Alvéolaire	Occlusal	Cutané
Sens antéro-postérieur	Classe II par rétrognathie mandibulaire	Bi-rétroalvéolie	- Classe I molaire et canine G - Classe II partielle molaire et canine D → Classe II subdivision droite - Surplomb correct	- HEIF : augmenté - ANL ouvert - SLM correct - DCM très légèrement réduite
Sens transversal		Rapports transversaux corrects	Décalage des milieux interincisifs de 2mm vers la droite (origine mandibulaire)	- Parallélisme des lignes - Contact bi-labial au repos - Sourire étroit et disharmonieux
Sens vertical	Hypodivergent		Supraclusion antérieure	Visage ovale

Fig.38. Tableau diagnostic

Difficulté du traitement avec les aligneurs : la présence de **latérales de petites tailles** et plutôt rondes, d'un **décalage antéro-postérieur de Classe II côté droit**, et d'une **supraclusion antérieure**. Nous savons que la rotation des dents rondes et le traitement des décalages antéro-postérieurs et des supraclusions sont des mouvements peu prédictibles à l'aide des aligneurs. De plus, étant donné l'axe des incisives maxillaires notamment, un mouvement de torque radiculo-lingual est à prévoir, ce qui n'est pas non plus un mouvement très précis avec les aligneurs.

Le 1<sup>er</sup> ClinCheck présentait un plan de traitement avec 50 aligneurs au maxillaire, 20 aligneurs actifs à la mandibule, soit un traitement d'environ 2 ans :



Il nécessite la mise en place de taquets optimisés sur les canines et prémolaires, de power ridges sur les incisives (sur la 32 jusqu'à l'aligneur 14, et sur les incisives antérieures à partir de l'aligneur 25), de RIP (entre les 41-31-32-33-34) et d'élastiques de Classe II (Fig.40) entre les 36, 46 et 13, 23 à l'aide de boutons placés en vestibulaire à la mandibule et en palatin au maxillaire.

Fig.40. Élastiques de Classe II, ici via un bouton en V de 46 et un precision cut en V de 13.



Situation clinique à la fin de la 1<sup>ère</sup> série d'aligneurs, juin 2019 :



Fig.41. Examen photographique lors de la réévaluation du cas, juin 2019 (fin théorique) comparé à la fin de traitement prédite par le ClinCheck.



Le résultat obtenu ne correspond pas au résultat prédit par le ClinCheck : il persiste un décalage des milieux, on observe une rotation de la 45, la 44 n'a pas égressé mais ingressé, les rotations des 34, 35 et 44 ne sont pas corrigées, et les canines ainsi que la molaire gauche ne sont pas en Classe I. On observe donc en plus du retard de certains mouvements (rotations), l'apparition de mouvements parasites

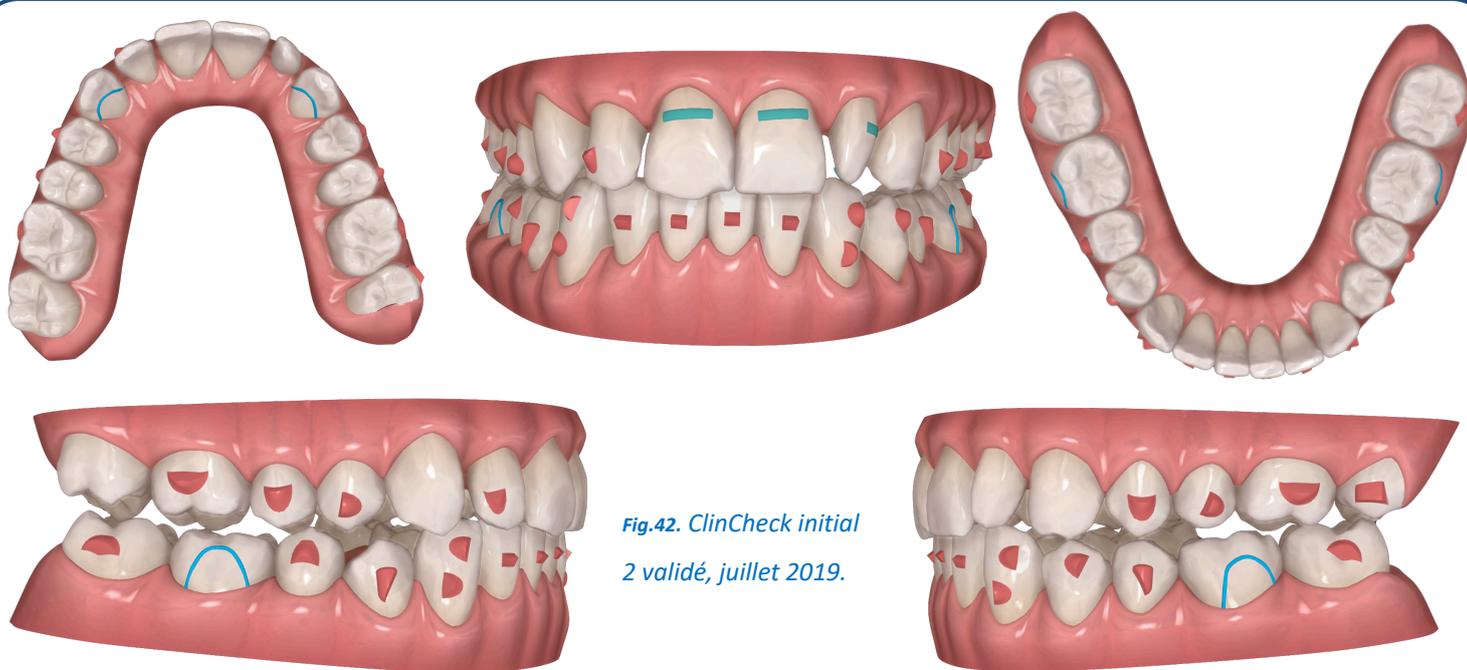
Ainsi, on peut voir que les mouvements prédits par le ClinCheck n'ont pas été atteints. Différentes choses peuvent en être la cause.

- Le manque de taquets sur 34 et 44 a provoqué un retard dans l'évolution de leurs mouvements, de plus, l'égression prévue sur la 44 était importante, d'une amplitude de 0,94mm.
- L'ajout d'une RIP dans le secteur 4 canin aurait pu libérer plus rapidement de l'espace, nécessaire à la fois à l'égression de la 44, la mésio-rotation de la 43, et la vestibulo-ingression de la 42. En revanche, cette RIP supplémentaire dans le secteur 4 aurait empiré le décalage des milieux inter-incisifs d'origine mandibulaire.
- Aucun taquet n'a été placé sur les 16 et 17, avec une distalisation prévue de 2,5 et 3,2mm, mais cela n'a pas semblé influencer leur évolution. Cependant, l'ajout d'un taquet améliore le contrôle radiculaire, la rétention et l'assise de la gouttière, lui évitant de se désinsérer lors de l'ingression du secteur antérieur, et permet de maintenir l'ancrage postérieur lors de la rétraction du secteur antérieur.
- Comme la littérature le conseille, une sur-correction des rotations  $>15^\circ$  aurait pu être bénéfique dans notre cas, afin de mieux contrôler les rotations des 44, 43, 33, 34 et 35, ayant respectivement des rotations prévues de  $37,8^\circ$ ,  $24,7^\circ$ ,  $21,3^\circ$ ,  $17,8^\circ$  et  $16,1^\circ$ .
- Lors de la détection de la perte de contrôle de la 44 au cours du traitement, il aurait pu être judicieux de mettre en place la technique de bootstrap sur cette dent.

Ainsi, une 2<sup>ème</sup> série d'aligneurs a été prescrite.

Il faudra à nouveau envoyer les documents demandés tels que le nouvel examen photographique et la nouvelle prescription. Le ClinCheck est à nouveau travaillé, puis définitivement validé.

Ce 2<sup>ème</sup> ClinCheck est composé de 26 aligneurs actifs au maxillaire et 31 aligneurs actifs à la mandibule. Il rajoute un peu plus d'un an de traitement.

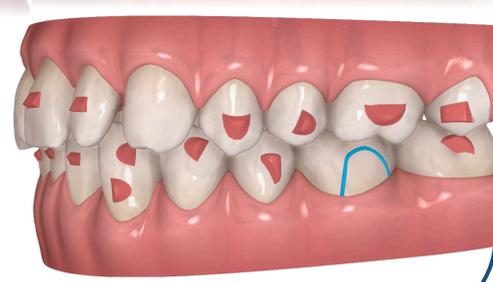
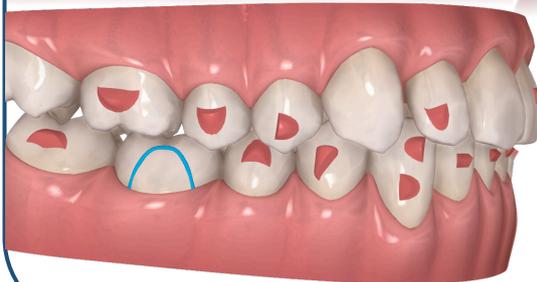


*Fig.42. ClinCheck initial  
2 validé, juillet 2019.*

Fin de traitement : le cas a été traité en 3 ans, avec un total de 76 aligneurs au maxillaire, et 51 à la mandibule :



*Fig.43. Examen photographique de fin de traitement, septembre 2020, comparé à la fin de traitement prédite par le 2<sup>ème</sup> ClinCheck.*



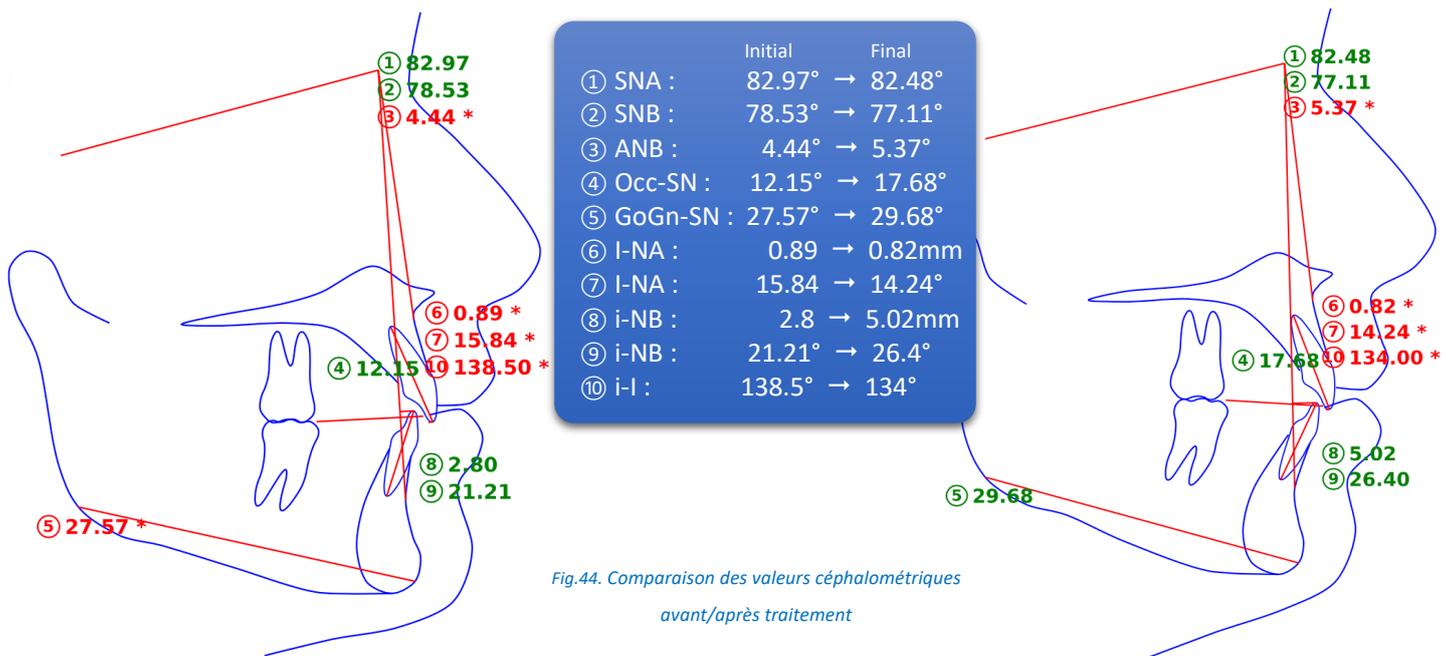


Fig.44. Comparaison des valeurs céphalométriques avant/après traitement

Fig.45. Analyse du cas avant/après traitement

	Avant	Après
<b>Analyse intra-arcade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Mandibule</b> : Forme parabolique / Encombrement antérieur (6mm) / Légères méso-rotations des 34, 35 et 44.</li> <li>- <b>Maxillaire</b> : Forme en U / Palais large / Encombrement antérieur / 12 étroite, 22 riziforme / Disto-rotation de la 13</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Mandibule</b> : Forme parabolique / Plus d'encombrement / Légère persistance de la méso-rotation de la 45.</li> <li>- <b>Maxillaire</b> : Forme en U / Palais large / Plus d'encombrement.</li> </ul>
<b>Analyse inter-arcades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Transversal</b> : rapports transversaux corrects / décalage des lignes inter-incisives de 2mm (origine mandibulaire vers la droite)</li> <li>- <b>Vertical</b> : Supraclusion antérieure</li> <li>- <b>Sagittal</b> : Surplomb correct</li> <li>Classe d'Angle II partielle molaire et canine D</li> <li>Classe I molaire et canine G</li> <li>→ Classe II subdivision droite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Transversal</b> : rapports transversaux corrects / décalage des lignes inter-incisives &lt;1mm</li> <li>- <b>Vertical</b> : Légère désocclusion postérieure</li> <li>- <b>Sagittal</b> : Surplomb correct</li> <li>Classe d'Angle I molaire et canine à droite et à gauche</li> </ul>
<b>Score occlusal ABO MGS</b>	52	21

L'ABO MGS est un score permettant aux examinateurs de l'ABO d'évaluer la qualité des fins de traitements orthodontiques. Il est calculé à partir de 8 critères différents : alignement, hauteur des crêtes marginales, inclinaison vestibulo-linguale, contacts occlusaux, relations occlusales, surplomb, contacts inter-proximaux et inclinaison des racines. Si le score est supérieur à 30, le cas n'est pas validé. Entre 20 et 30 il peut être validé. S'il est inférieur à 20, le cas est validé par l'ABO.



Fig.46.  
Radiographie panoramique post-traitement du 25/09/2020

### 3.II | Proposition d'une méthode de superposition des arcades dentaires : modèle prédit/modèle réalisé

Afin de comparer les mouvements prédits aux mouvements obtenus, nous avons réalisé une superposition du **ClinCheck prédit** (ClinCheck final de la 1<sup>ère</sup> série d'aligneurs) et du **modèle initial de la 2<sup>ème</sup> série d'aligneurs**.

Certaines études<sup>51</sup> montrent que les rugae palatines sont des structures stables et permettent la superposition. Mais cette technique n'est valable que pour le maxillaire. D'autres études<sup>36, 40</sup> utilisent comme points de référence les dents stables, non déplacées pendant le traitement, mais cela est valable uniquement pour les traitements ne déplaçant que certaines dents. De plus, les dents n'étant « pas déplacées » sont toujours soumises à des effets collatéraux, via un ancrage, une expansion, ou encore une légère ingression par le port des gouttières.

Ainsi, dans ce cas, afin de mesurer à la fois le maxillaire et la mandibule, lors d'un traitement de l'ensemble des dents, nous avons choisi d'utiliser comme référence **la forme d'arcade**. Celle-ci permet une superposition stable, selon une forme « moyenne » reproductible.

Les modèles ont été importés au format .stl dans le **logiciel 3DSlicer** (version 4) puis **superposés via la forme d'arcade** : des points ont été placés (Fig.47) sur toutes les dents sur une vue occlusale : bord libre des incisives centrales et latérales, pointes canines, pointes cuspidiennes des cuspidés vestibulaires des prémolaires, et des cuspidés mésio-vestibulaires des molaires.

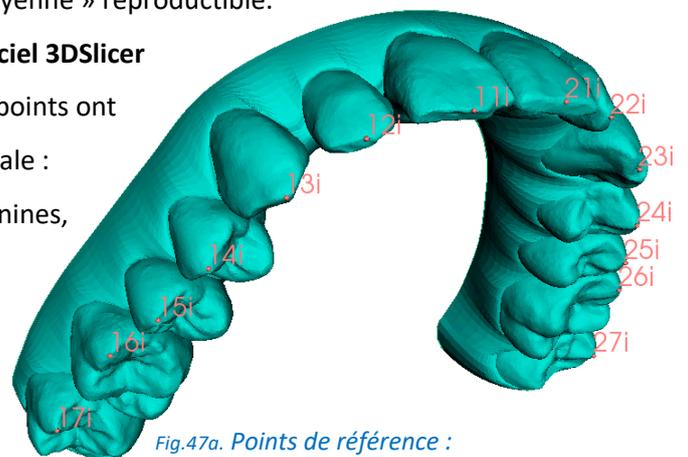
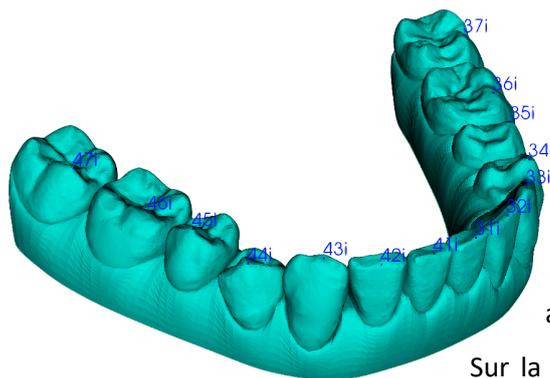


Fig.47a. Points de référence :  
forme d'arcade maxillaire

Fig.47b. Points de référence : forme d'arcade mandibulaire



Via ces points de référence, une **superposition surface-surface** est effectuée selon la forme d'arcade.

Nous obtenons une superposition « **qualitative** » du modèle obtenu, coloré en fonction de son taux de correspondance avec le modèle prédit (Fig.48).

Sur la modélisation obtenue, un **gradient de couleur** va du vert au rouge autour d'une valeur centrée définie par l'utilisateur. La valeur minimale étant attribuée à la couleur verte : aucune modification spécifique, autrement dit, surfaces identiques entre les deux modèles. La valeur maximale pour laquelle l'écart sera le plus important est attribuée à la couleur rouge : grandes différences : la surface donnée ne correspond pas aux surfaces du modèle prédit.

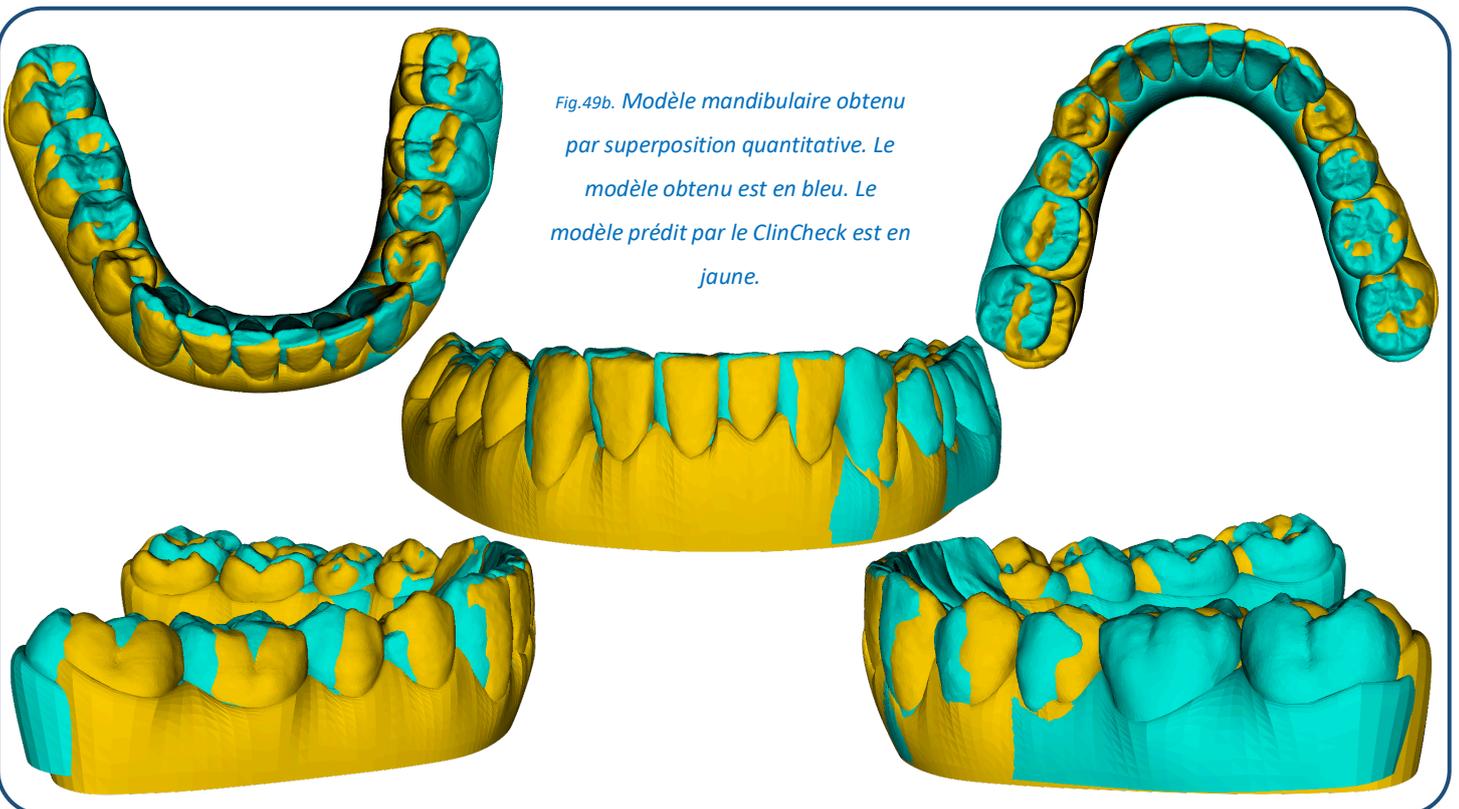
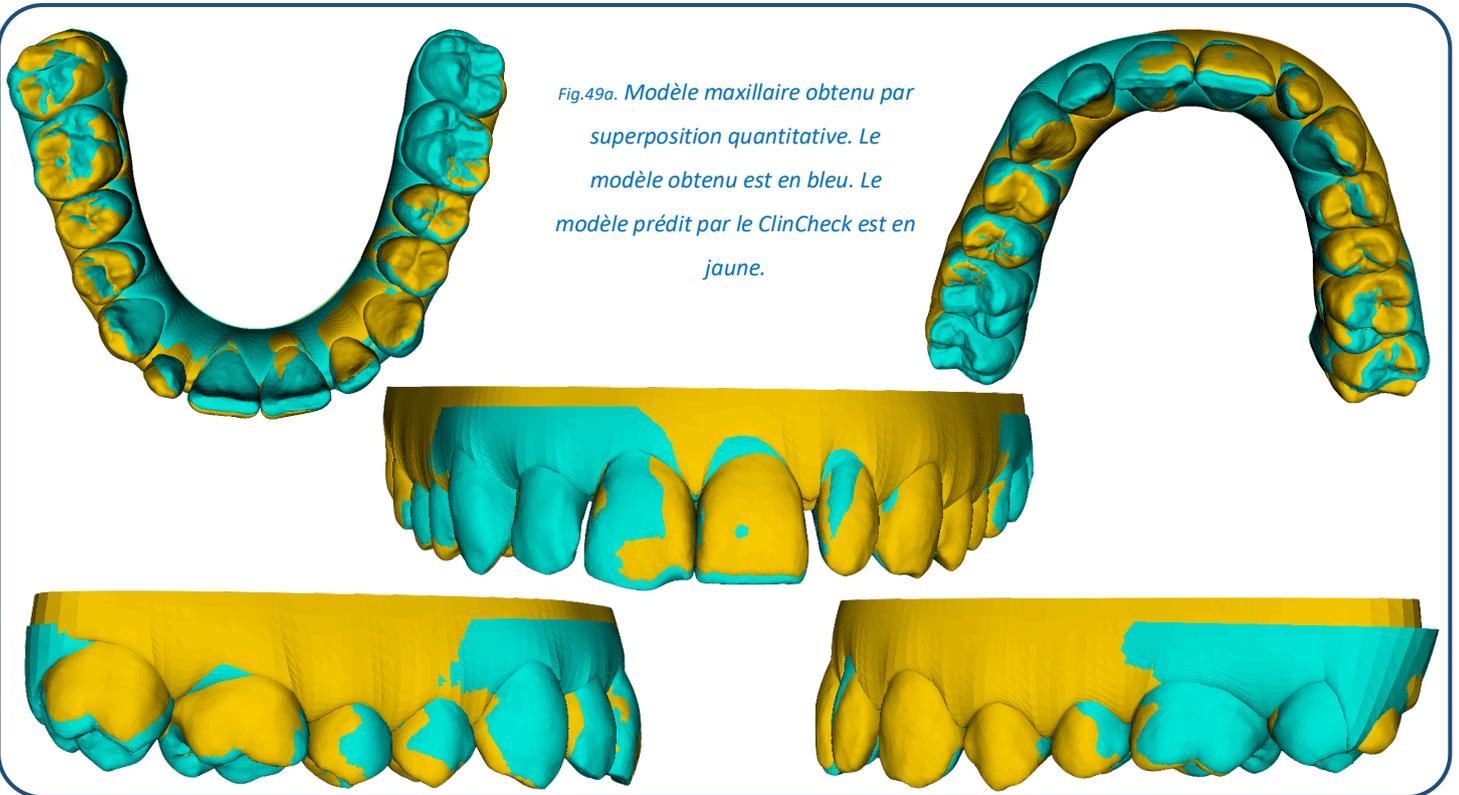


Fig.48. Modèle maxillaire obtenu par superposition qualitative. Le vert correspond aux surfaces identiques.

Plus la couleur tend vers le rouge, plus la surface donnée ne correspond pas aux surfaces du modèle prédit.

→ La large prédominance de rouge dans la zone antérieure nous montre que les mouvements linguaux du secteur antérieur prévus ont été très peu réalisés. En revanche, le contrôle des mouvements en postérieur s'est révélé plus efficace.

Une superposition « **quantitative** » (Fig.49) des deux modèles est ensuite réalisée, selon la même méthode et selon les mêmes points de référence. Cette fois, les deux modèles sont visibles mais sont de couleurs différentes.



Chaque point de référence possède des coordonnées X, Y, Z que l'on a répertorié dans un tableau (Fig.50).

	X	Y	Z	X	Y	Z	Xf	Xi	Xdif	Yf	Yi	Ydif	Zf	Zi	Zdif
17f	-28,54	14,54	-4,09	-28,20	14,14	-4,56	-28,54	-28,20	0,35	17	14,54	14,14	-4,09	-4,56	0,47
16f	-25,78	3,37	-5,61	-25,81	3,36	-5,49	-25,78	-25,81	0,03	16	3,37	3,36	-5,61	-5,49	0,12
15f	-23,28	-1,47	-6,91	-23,27	-1,83	-6,63	-23,28	-23,27	0,01	15	-1,47	-1,83	-6,91	-6,63	0,27
14f	-20,68	-7,33	-7,18	-20,61	-7,57	-6,85	-20,68	-20,61	0,08	14	-7,33	-7,57	-7,18	-6,85	0,33
13f	-16,59	-14,84	-7,48	-16,71	-15,14	-7,45	-16,59	-16,71	0,12	13	-14,84	-15,14	-7,48	-7,45	0,03
12f	-11,41	-19,76	-6,41	-11,60	-19,83	-6,80	-11,41	-11,60	0,19	12	-19,76	-19,83	-6,41	-6,80	0,39
11f	-4,29	-23,00	-7,09	-4,29	-22,78	-7,71	-4,29	-4,29	0,01	11	-23,00	-22,78	-7,09	-7,71	0,62
21f	4,12	-23,27	-6,53	4,09	-22,78	-7,25	4,12	4,09	0,03	21	-23,27	-22,78	-6,53	-7,25	0,72
22f	11,00	-20,63	-6,81	10,34	-20,21	-6,42	11,00	10,34	0,67	22	-20,63	-20,21	-6,81	-6,42	0,39
23f	16,08	-15,58	-7,19	15,85	-14,86	-7,08	16,08	15,85	0,23	23	-15,58	-14,86	-7,19	-7,08	0,11
24f	20,06	-8,65	-7,59	19,46	-8,18	-7,26	20,06	19,46	0,60	24	-8,65	-8,18	-7,59	-7,26	0,34
25f	22,36	-2,65	-6,50	22,40	-2,11	-6,34	22,36	22,40	0,03	25	-2,65	-2,11	-6,50	-6,34	0,17
26f	24,49	2,14	-5,87	24,92	2,65	-5,69	24,49	24,92	0,43	26	2,14	2,65	-5,87	-5,69	0,18
27f	27,59	13,50	-5,38	28,07	13,33	-5,42	27,59	28,07	0,48	27	13,50	13,33	-5,38	-5,42	0,04
47f	-23,12	2,08	5,74	-23,32	3,78	6,32	-23,12	-23,32	0,20	47	2,08	3,78	5,74	6,32	0,58
46f	-20,61	-7,17	4,36	-20,61	-5,79	4,79	-20,61	-20,25	0,36	46	-7,17	-5,79	4,36	4,79	0,43
45f	-18,34	-13,01	5,11	-18,62	-11,49	5,62	-18,34	-18,62	0,28	45	-13,01	-11,49	5,11	5,62	0,51
44f	-15,93	-18,63	5,90	-16,46	-17,55	4,50	-15,93	-16,46	0,53	44	-18,63	-17,55	5,90	4,50	1,40
43f	-10,93	-24,71	6,06	-11,54	-23,66	6,42	-10,93	-11,54	0,61	43	-24,71	-23,66	6,06	6,42	0,36
42f	-7,11	-28,18	5,65	-7,53	-27,25	6,12	-7,11	-7,53	0,42	42	-28,18	-27,25	5,65	6,12	0,47
41f	-1,86	-29,35	5,81	-2,47	-28,85	5,90	-1,86	-2,47	0,61	41	-29,35	-28,85	5,81	5,90	0,09
31f	2,78	-29,57	5,83	2,05	-29,30	6,05	2,78	2,05	0,73	31	-29,57	-29,30	5,83	6,05	0,22
32f	7,43	-28,35	5,90	6,96	-28,52	6,14	7,43	6,96	0,47	32	-28,35	-28,52	5,90	6,14	0,24
33f	11,56	-25,82	6,22	11,28	-26,23	6,36	11,56	11,28	0,28	33	-25,82	-26,23	6,22	6,36	0,14
34f	16,57	-19,61	5,70	16,49	-20,89	4,77	16,57	16,49	0,08	34	-19,61	-20,89	5,70	4,77	0,93
35f	19,33	-13,53	5,15	19,83	-14,60	4,68	19,33	19,83	0,50	35	-13,53	-14,60	5,15	4,68	0,47
36f	20,88	-7,64	4,81	21,50	-9,53	4,70	20,88	21,50	0,62	36	-7,64	-9,53	4,81	4,70	0,11
37f	23,07	2,40	5,86	23,07	0,68	6,35	23,07	25,59	2,52	37	2,40	0,68	5,86	6,35	0,49

Fig.50. Tableau répertoriant les valeurs des coordonnées initiales et finales, ainsi que leur différence en fonction de chaque dent (en mm).

A partir des données recueillies dans ce tableau (Fig.50), nous pouvons établir les **moyennes des différences** obtenues entre coordonnées initiales et finales, fonction de l'axe X (plan frontal), l'axe Y (plan sagittal) et l'axe Z (plan vertical).

	X	Y	Z
Maxillaire	0,23	0,35	0,30
Mandibule	0,59	1,07	0,46

Fig.51. Moyennes des différences obtenues (en mm)

→ Les différences qui tendent vers 0 montrent qu'il n'y a pas de différence entre le modèle obtenu et le modèle réalisé. Inversement, on peut ainsi voir que c'est dans la dimension sagittale mandibulaire que les mouvements ont été le moins bien réalisés.

La différence entre les coordonnées des modèles prédits et obtenus (Fig.50 et 52) nous permet de mettre en évidence la différence de position des dents dans les 3 sens de l'espace (Fig.53) : exemple de l'incisive maxillaire gauche (21) et de la première prémolaire mandibulaire droite (44) :

Fig.52a. Coordonnées de la dent n°21 :

	Coordonnées finales et initiales				Différence sur l'axe x				Différence sur l'axe y				Différence sur l'axe z		
	X	Y	Z		Xf	Xi	Xdif		Yf	Yi	Ydif		Zi	Zf	Zdif
21f	4,12	-23,27	-6,53	21	4,12	4,09	0,03	21	-23,27	-22,78	0,48	21	-6,53	-7,25	0,72
21i	4,09	-22,78	-7,25												

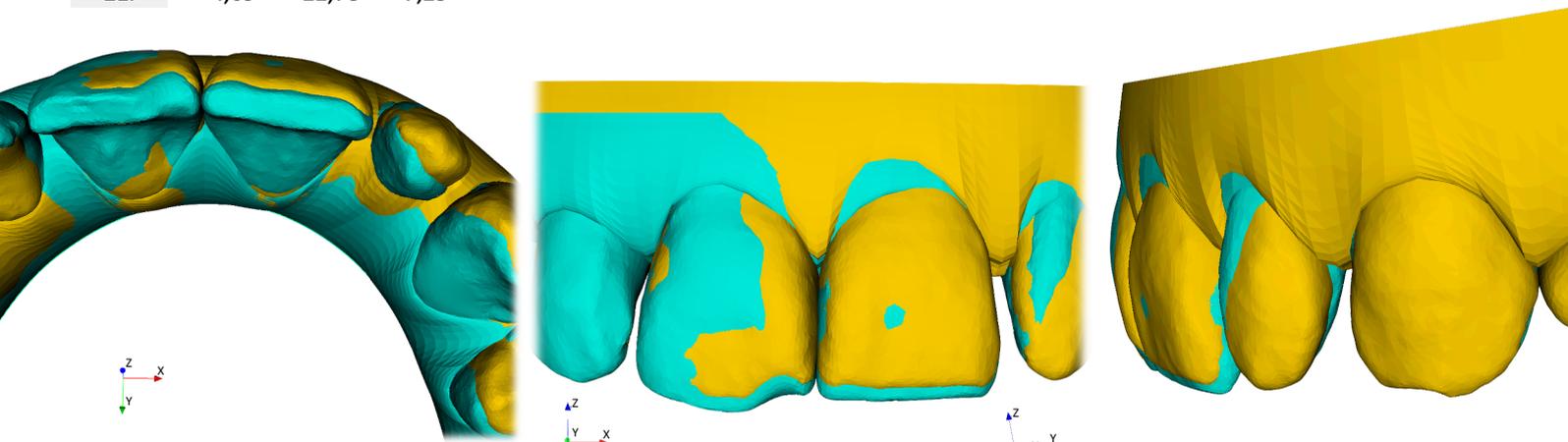


Fig.53a. Représentation du décalage de la 21 sur le logiciel 3D Slicer.

→ Ainsi, la 21 est décalée par rapport à sa position prédite par le ClinCheck, de 0,03mm sur l'axe X (plan frontal)(moyenne=0,23), de 0,48mm sur l'axe Y (plan sagittal)(moyenne=0,35) et de 0,72mm sur l'axe Z (plan vertical)(moyenne=0,30). On voit bien sur le modèle que les décalages vestibulo-lingual et vertical sont plus important que le décalage mésio-distal sur cette dent. Le torque n'a pas été totalement exprimé.

Fig.52b. Coordonnées de la dent n°44 :

	Coordonnées finales et initiales				Différence sur l'axe x				Différence sur l'axe y				Différence sur l'axe z		
	X	Y	Z		Xf	Xi	Xdif		Yf	Yi	Ydif		Zi	Zf	Zdif
44f	-15,93	-18,63	5,90	44	-15,93	-16,46	0,53	44	-18,63	-17,55	1,08	44	5,90	4,50	1,40
44i	-16,46	-17,55	4,50												

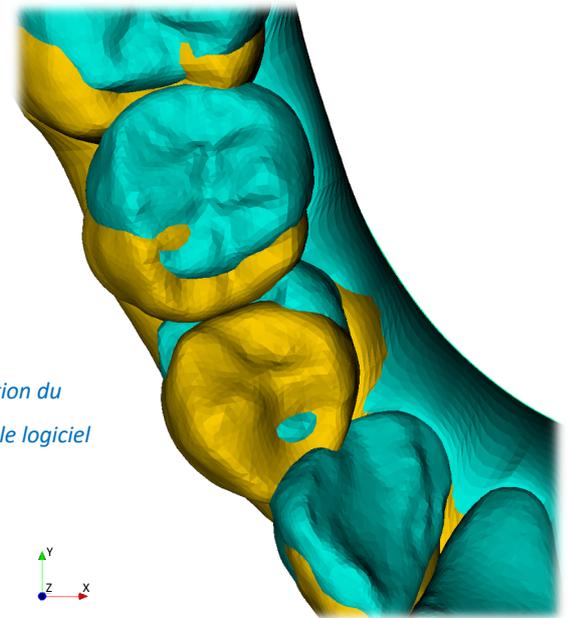
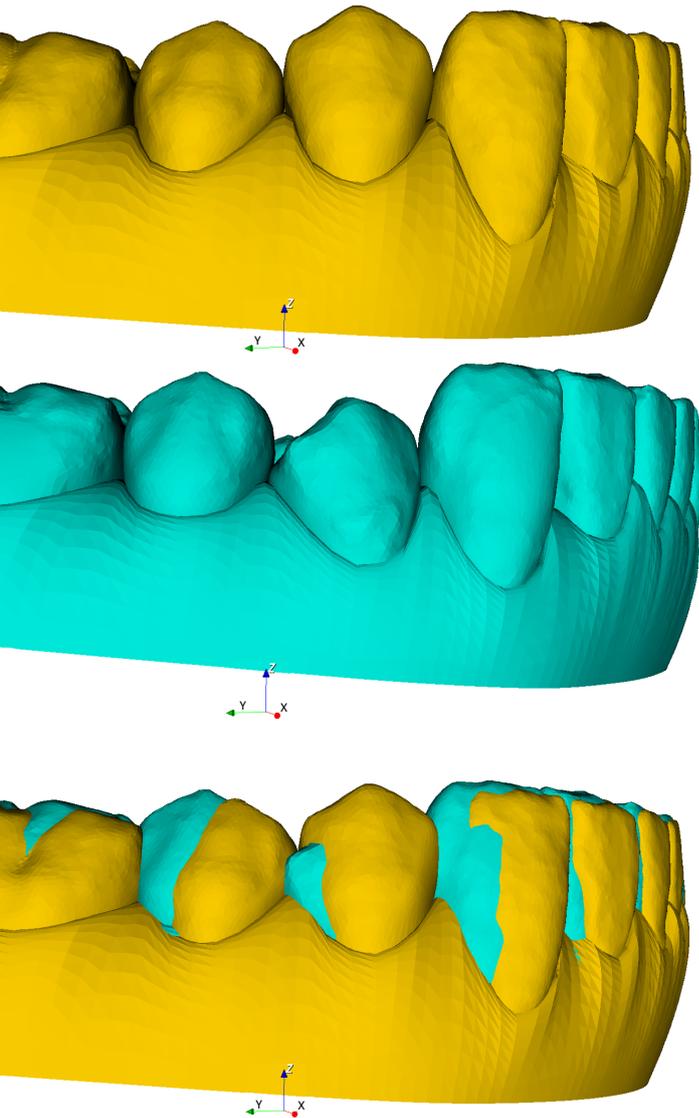


Fig.53b. Représentation du décalage de la 44 sur le logiciel 3D Slicer.

→ Ainsi, la 44 est décalée par rapport à sa position prédite par le ClinCheck, de 0,53mm sur l'axe X (plan frontal) (moyenne=0,59), de 1,08mm sur l'axe Y (plan sagittal) (moyenne=1,07) et de 1,4mm sur l'axe Z (plan vertical) (moyenne=0,46).

Le décalage obtenu sur l'axe Z, trois fois plus important que la moyenne, traduit la position obtenue trop ingressée de la 44.

À l'aide du logiciel il est possible de calculer des distances ainsi que des angles :

### Calcul de la largeur d'arcade maxillaire :

	Obtenus		Prédit	
<b>Calcul des distances interdentaires</b>	13-23 :	32,45mm	<	32,78mm
	14-24 :	40,07mm	<	40,76mm
	15-25 :	45,72mm	>	45,71mm
	16-26 :	50,63mm	>	50,44mm
	17-27 :	56,20mm	>	55,60mm

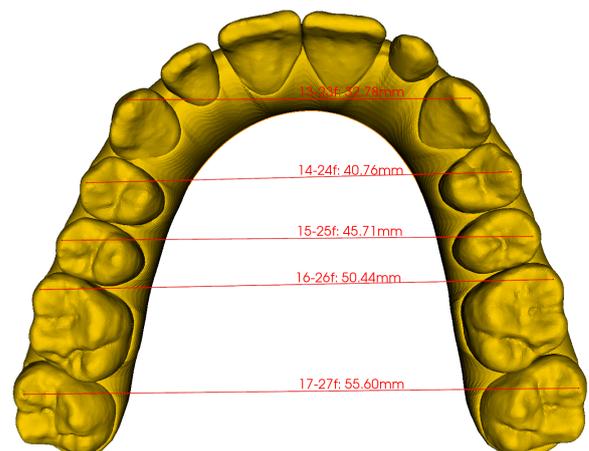
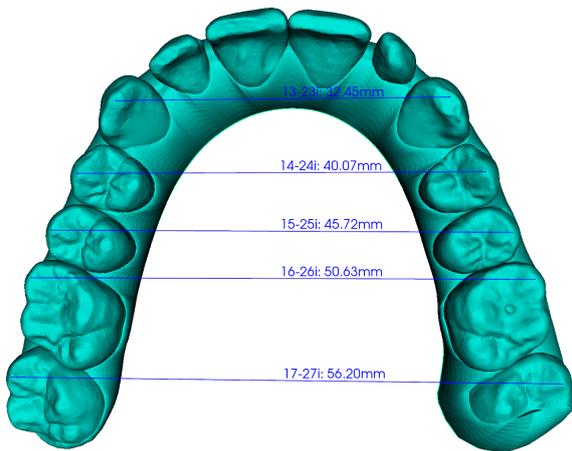


Fig.54a. Calcul des distances intercanines, interprémolaires et intermolaires entre modèle obtenu (en bleu) et modèle prédit (en jaune).

→ On remarque ici que, plus on se déplace en postérieur, plus les distances interdentaires obtenues sont supérieures à celles prédites.

### Calcul de la largeur d'arcade mandibulaire :

	Obtenus		Prédit	
<b>Calcul des distances interdentaires</b>	33-43 :	22,94mm	>	22,50mm
	34-44 :	33,11mm	>	32,50mm
	35-45 :	38,56mm	>	37,66mm
	36-46 :	41,88mm	>	41,48mm
	37-47 :	48,98mm	>	46,18mm

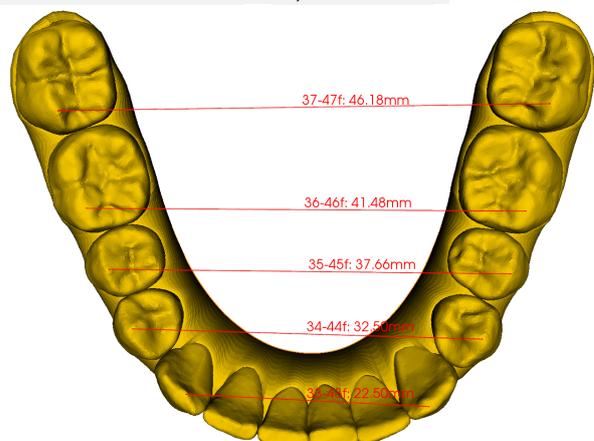
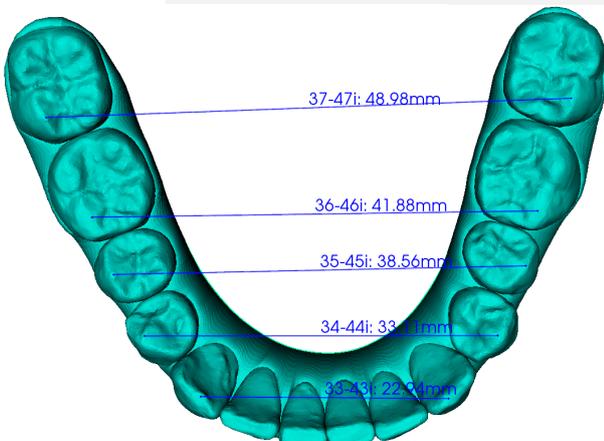


Fig.54b. Calcul des distances intercanines, interprémolaires et intermolaires entre modèle obtenu (en bleu) et modèle prédit (en jaune).

→ On remarque que toutes les distances interdentaires obtenues ont été supérieures à celles prédites.

### Calcul du torque de la 21 :

Afin de mesurer le torque, nous avons réalisé le calcul de l'angle entre :

- la droite passant par le bord libre de la 21 et par le point de la dent le plus cervical.
- une droite passant par le plan sagittal.

	Obtenue	Prédit
Calcul du torque	3,2°	5,9°

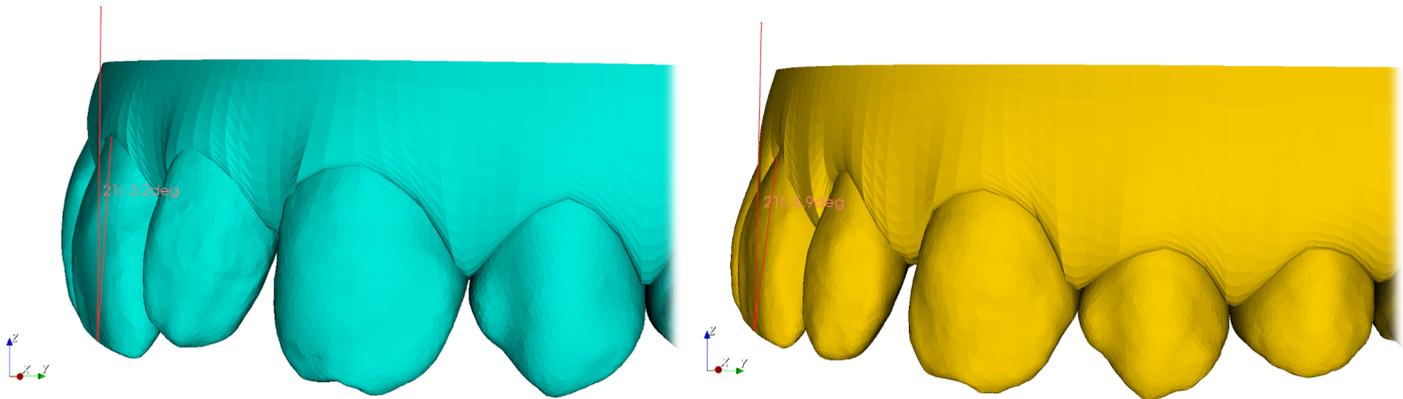


Fig.55. Calcul du torque entre modèle obtenu (en bleu) et modèle prédit (en jaune).

→ On remarque que le torque obtenu a été inférieur à celui prédit.

Certaines **formules mathématiques** nous permettent de calculer directement les valeurs (comme celle du torque par exemple) à partir des coordonnées utilisées dans la modélisation. Mais ces formules n'ont pas été utilisées dans le cadre de cette thèse.

Ainsi, afin d'illustrer cette méthode de superposition par la forme d'arcade, nous avons ici regroupé des exemples de mesures concernant les dents individuellement. Cette méthode est facilement reproductible, et, étendue à toutes les dents, elle permet d'obtenir de façon précise les **différences entre les mouvements prédits par le ClinCheck et les mouvements obtenus, dans les 3 sens de l'espace.**

# Conclusion

---

Depuis leur création, la technologie a continuellement amélioré les traitements par aligneurs : remplacement des empreintes par des scanners intra-oraux de plus en plus précis, impression 3D, mouvement individuel des dents dans des configurations logicielles virtuelles, améliorations des matériaux d'alignement et des accessoires sont tous des exemples de progrès récents. Des évolutions en plein développement telles que le monitoring à distance (surveillance à distance du traitement orthodontique du patient), seront également à l'avenir, un facteur d'amélioration supplémentaire du traitement par aligneurs. C'est pourquoi nous observons que les possibilités de traitement et l'efficacité des mouvements par aligneurs évoluent dans le même sens. Invisalign promet même que l'efficacité du mouvement d'ingression sera doublée avec la mise à jour G8 en 2021.

Mais il manque de publications valables, basées sur la preuve, c'est pourquoi il est impératif que davantage d'essais randomisés contrôlés soient menés à l'avenir pour une meilleure preuve clinique, et ainsi permettre aux orthodontistes de s'appuyer sur des preuves scientifiques plutôt que sur des conclusions plus ou moins anecdotiques lors de leur prise de décision.

Au cours de notre étude, nous avons constaté que les mouvements simples comme le tip vestibulo-lingual, sont obtenus de manière assez prévisible, mais les mouvements complexes nécessitent une planification de traitement adéquate et l'utilisation d'auxiliaires supplémentaires tels que des taquets optimisés, des élastiques, des dispositifs d'ancrage auxiliaires et des surcorrections. Ces éléments auxiliaires permettent d'obtenir un résultat plus stable, prévisible et efficace, la marge d'amélioration étant immense compte tenu de l'évolution constante de la technique.

La méthode de superposition que nous avons présentée nous permet d'apprécier les différences entre résultat obtenu et ClinCheck prédit. Cette méthode pourra être appliquée dans une étude clinique avec un échantillon plus élevé afin de pouvoir évaluer les différences obtenues en fonction des mouvements analysés. Cela permet au praticien d'intégrer les connaissances nécessaires sur l'efficacité des différents mouvements, en fonction des dents, de leur importance, de leur répartition au cours du temps, et ainsi optimiser son ClinCheck. Il faudra ainsi garder en tête que celui-ci n'est pas la prévisualisation du résultat final, mais l'illustration d'un schéma de moments de force permettant de mener au résultat souhaité.

## Bibliographie

### 1 – Présentation des aligneurs

1. Aileen S. Kim. Treatment Effectiveness of the Invisalign® System: A systematic review. [Thesis for the degree of Master of Science in Oral Biology].2013.
2. Miller K, McGorray S, Womack R, Quintero J, Perelmuter M, Gibson J et al. A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2007;131(3):302.e1-302.e9.
3. Miethke R, Vogt S. A Comparison of the Periodontal Health of Patients during Treatment with the Invisalign® System and with Fixed Orthodontic Appliances. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2005;66(3):219-229.
4. Azaripour A, Weusmann J, Mahmoodi B, Peppas D, Gerhold-Ay A, Van Noorden C et al. Braces versus Invisalign®: gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study. *BMC Oral Health*. 2015;15(1).
5. Wheeler T., Patel N., McGorray S. Effect of aligner material on orthodontic tooth movement. *Journal of Aligner Orthodontics* 2017;1(1):21–27.
6. Kesling H. The philosophy of the tooth positioning appliance. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery*. 1945;31(6):297-304.
7. Omar Fetouh. Comparison of treatment outcome of Invisalign® and Traditional Fixed Orthodontics by Model Analysis using ABO Objective Grading System. [Thesis for the Master of Science in Orthodontics]. Faculty of the Graduate School of The State University of New York, 2008.
8. Sarah Saunders. (2019). SmarTech Dental and Medical 3D Printing Trend and Forecast Presentations at AMS 2019. En ligne <https://3dprint.com/235005/smartech-dental-medical-3d-printing-forecast-presentations>, consulté le 27 mai 2020.
9. Keldon Michael Carroll. Investigation into the Significance of Daily Invisalign Tray Wear Duration. [Thesis for the Degree Master of Science in the Graduate School of The Ohio State University]. Columbus ; 2018.
10. Bouchez R. Clinical success in Invisalign orthodontic treatment. Paris : Quintessence International ; 2009.
11. Tai S, Dib M, Boyd R. Orthodontie invisible : Guide clinique des traitements par aligneurs. 1st ed. Quintessence Publishing Co; 2018.
12. Pierre-Loup Cellier. Les aligneurs orthodontiques : nouvel outil thérapeutique, utilisation au cabinet et perspectives. *Sciences du Vivant [q-bio]*. 2019. dumas-02170054

13. Madelyn Homick (oct. 2020). Align Technology announces Invisalign® G8 with new SmartForce® Aligner Activation features. En ligne, <http://investor.aligntech.com/news-releases/news-release-details/align-technology-announces-invisalign-g8-new-smartforce>, consulté le 12 novembre 2020.
14. Zheng M, Liu R, Ni Z, Yu Z. Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2017;20(3):127-133.
15. Gu J, Tang J, Skulski B, Fields H, Beck F, Firestone A et al. Evaluation of Invisalign treatment effectiveness and efficiency compared with conventional fixed appliances using the Peer Assessment Rating index. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2017;151(2):259-266.
16. Papadimitriou A, Mousoulea S, Gkantidis N, Kloukos D. Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment: a systematic review. *Progress in Orthodontics*. 2018;19(1).
17. Ke Y, Zhu Y, Zhu M. A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies. *BMC Oral Health*. 2019;19(1).
18. Clements KM, Bollen AM, Huang G, King G, Hujoel P, Ma T. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 2: dental improvements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2003;124: 502–508.
19. Acquire Media (2016). Align technology introduces one-week aligner wear for Invisalign® Teen and Full. En ligne <http://investor.aligntech.com/news-releases/news-release-details/align-technology-introduces-one-week-aligner-wear-invisalignr>, consulté le 26 septembre 2020.
20. Galan-Lopez L, Barcia-Gonzalez J, Plasencia E. A systematic review of the accuracy and efficiency of dental movements with Invisalign®. *Korean J Orthod* 2019;49(3):140-149.
21. Drake C, McGorray S, Dolce C, Nair M, Wheeler T. Orthodontic Tooth Movement with Clear Aligners. *ISRN Dentistry*. 2012;2012:1-7.
22. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung B, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: Incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014;145(6):728-736.
23. Ojima K, Kau C. A perspective in accelerated orthodontics with aligner treatment. *Seminars in Orthodontics*. 2017;23(1):76-82.
24. Mathews D, Kokich V. Accelerating tooth movement: The case against corticotomy-induced orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2013;144(1):5-13.
25. Bowman S. Improving the predictability of clear aligners. *Seminars in Orthodontics*. 2017;23(1):65-75.
26. Boyd R.L. Increasing the predictability of quality results with Invisalign. *Proceedings of the Illinois Society of Orthodontists; Oak Brook, Ill; March 7, 2005*. En ligne [http://www.qpso.org/events/2003\\_outline.pdf](http://www.qpso.org/events/2003_outline.pdf), consulté le 20 septembre 2020.
27. Nicozisis JL. Tripping the plastic fantastic. *Orthod Products*. 2013:28–34.
28. Hu-Friedy. Clear Collection for Clear Aligners [brochure], *Hu-Friedy.com*. 2018.

29. Hu-Friedy. (2013). Hu-Friedy's Clear Collection for Clear Aligners: The Vertical. *En ligne* <https://www.youtube.com/watch?v=f2sFIZPVF3E>, consulté le 10 juin 2020.

30. Hahn W, Zapf A, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, Gruber R et al. Torquing an upper central incisor with aligners - acting forces and biomechanical principles. *The European Journal of Orthodontics*. 2010;32(6):607-613.

31. Bowman SJ, Celenza F, Sparaga J, Papadopoulos MA, Ojima K, Lin JC. Creative adjuncts for clear aligners, part 3: Extraction and interdisciplinary treatment. *J Clin Orthod*. 2015 Apr;49(4):249-62.

32. American Board of Orthodontics. Grading System for Dental Casts and Panoramic Radiographs. *The American Board of Orthodontics*. Revised June 2012.

33. Marshall S, Dawson D, Southard K, Lee A, Casco J, Southard T. Transverse molar movements during growth. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2003;124(6):615-624.

## 2 - Mouvements obtenus par aligneurs : Analyse de la littérature

34. Michael Kamatovic. A Retrospective Evaluation of the Effectiveness of the Invisalign® Appliance using the PAR and Irregularity Indices. [Thesis for the degree of Master of MSc]. Toronto ; 2004.

35. Susan A. Erdman-Spain. Evaluation of expected and actual Invisalign® treatment outcomes. [Thesis for the degree of Master of Science in Oral Sciences in the Graduate College of the University of Illinois]. Chicago ; 2006.

36. Kravitz N, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2009;135(1):27-35.

37. Krieger E, Seiferth J, Marinello I, Jung B, Wriedt S, Jacobs C et al. Invisalign® treatment in the anterior region. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2012;73(5):365-376.

38. Kassas W, Al-Jewair T, Preston C, Tabbaa S. Assessment of Invisalign treatment outcomes using the ABO Model Grading System. *Journal of the World Federation of Orthodontists*. 2013;2(2):e61-e64

39. Chisari J, McGorray S, Nair M, Wheeler T. Variables Affecting Orthodontic Tooth Movement with Clear Aligners. *Smile Dental Journal*. 2014;9(3):36-36.

40. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung B, Bourauel C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique – regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health*. 2014;14(1).

41. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi C. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *The Angle Orthodontist*. 2015;85(5):881-889.

42. Buschang P, Ross M, Shaw S, Crosby D, Campbell P. Predicted and actual end-of-treatment occlusion produced with aligner therapy. *The Angle Orthodontist*. 2015;85(5):723-727.

43. Grünheid T, Loh C, Larson BE. How accurate is Invisalign in nonextraction cases? Are predicted tooth positions achieved? *Angle Orthod*. 2017 Nov;87(6):809-815.

44. Lombardo L, Arreghini A, Ramina F, Huanca Ghislanzoni L, Siciliani G. Predictability of orthodontic movement with orthodontic aligners: a retrospective study. *Progress in Orthodontics*. 2017;18(1).

45. Charalampakis O, Iliadi A, Ueno H, Oliver D, Kim K. Accuracy of clear aligners: A retrospective study of patients who needed refinement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2018;154(1):47-54.
46. Tepedino M, Paoloni V, Cozza P, Chimenti C. Movement of anterior teeth using clear aligners: a three-dimensional, retrospective evaluation. *Progress in Orthodontics*. 2018;19(1).
47. Izhar A, Singh G, Goyal V, Singh R, Gupta N, Pahuja P. A Prospective Comparative Study between the Software Models and Clinical Models of Clear Aligner Treatment. *Orthodontic Journal of Nepal*. 2019;9(1):28-34
48. Robertson L, Kaur H, Fagundes N, Romanyk D, Major P, Flores Mir C. Effectiveness of clear aligner therapy for orthodontic treatment: A systematic review. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2020;23(2):133-142.
49. Haouili N, Kravitz N, Vaid N, Ferguson D, Makki L. Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2020;158(3):420-425.
50. Tsai M, Chen S, Chen Y, Yao C. Treatment Efficacy of Invisalign. Literature Review Update. *Taiwanese Journal of Orthodontics*. 2020;32(2): 68-78.

### 3 – Cas clinique

51. Miller RJ, Kuo E, Choi W. Validation of Align Technology's Treat III® digital model superimposition tool and its case application. *Orthod Craniofacial Res* 6 (Suppl. 1), 2003; 143–149.

## Table des figures

Fig.1. Gouttière Invisalign maxillaire

Source : <https://www.invisalign.fr>

Fig.2. Deux techniques de traitement

Source : <https://centre-dentaire-paris-17-cardinet.fr>

Fig.3. Prescription de traitement Invisalign Full®

Source : *Invisalign Doctor Site*

Fig.4. ClinCheck

Source : *Invisalign Doctor Site*

Fig.5. Exemple de fiche d'aperçu de traitement

Source : *Invisalign Doctor Site*

Fig.6. Fil de contention en Nitinol Mémostat® par Ormco

Source : <https://ormco.fr/produits/dispositifs-intra-oraux/contentions/memotain>

Fig.7. Tableau des avantages et inconvénients de la technique de traitement par aligneurs

Fig.8. Tableau des indications et indications plus complexes de la technique de traitement par aligneurs

Fig.9.. Power Ridges sur les 11, 12, 21, 22

Source : <http://www.thevertree.com.au/blogs/-beauty-and-the-brace>

Fig.10. Dispositif d'avancée mandibulaire

Source : <http://investor.aliqntech.com/news-releases/news-release-details/align-technology-announces-new-teen-solution-introduction>

Fig.11. Découpage de précision pour placer un bouton

Source : <https://www.invisalign.fr>

Fig.12. Découpage de précision pour accrocher un élastique

Source : <https://www.invisalign.fr>

Fig.13. Bite Ramps visibles sur la surface linguale des aligneurs au maxillaire et en antérieur

Source : <http://www.moad-invisalign.fr/invisalign/linnovation/invisalign-g5>

Fig.14. Optimisation de l'ingression antérieure par l'ajout d'une zone de pression en lingual

Source : <http://www.moad-invisalign.fr/invisalign/linnovation/invisalign-g5>

Fig.15. Staging : répartition des mouvements au cours du temps

Source : Logiciel Invisalign ClinCheck Pro

Fig. 16. Amélioration G6 des fonctionnalités SmartForce® dans la fermeture d'espace

Source : <https://www.invisalign.fr>

Fig. 17. Amélioration G7 des fonctionnalités SmartForce® dans le contrôle des racines et des incisives latérales

Source : <https://seasons-of-smiles.com/wp-content/uploads/Invisalign-G7-Technology-1-1.pdf>

Fig.18. Indicateur de coopération

Source : <https://laderaortho.com/invisalign-teen-compliance-indicator/>

Fig.19. Dispositif OrthoPulse iO LED

Source : *Improving the predictability of clear aligners*<sup>25</sup>

Fig.20. Dispositif Acceledent Aura

Source : *Improving the predictability of clear aligners*<sup>25</sup>

Fig.21. Illustration des chewies

Source : <https://www.youtube.com/watch?v=MWCAOA-qyNY>

Fig.22. Pince Hu-Friedy La Verticale

Source : *Clear Collection for Clear Aligners [brochure]*<sup>28</sup>

Fig.23. Pince Hu-Friedy L'Horizontale

Source : *Clear Collection for Clear Aligners [brochure]*<sup>28</sup>

Fig.24. Pince Hu-Friedy L'Encoche

Source : *Clear Collection for Clear Aligners [brochure]*<sup>28</sup>

Fig.25. Technique de "bootstrap"

Source : *Improving the predictability of clear aligners*<sup>25</sup>

Fig.26. Pince Hu-Friedy Le Poinçon

Source : *Clear Collection for Clear Aligners [brochure]*<sup>28</sup>

Fig.27. De gauche à droite : Horseshoe Jet, Distal Jet et Carriere Motion

Source : <https://www.specialtyappliances.com/appliance.php?appliance=139>, <https://www.americanortho.com/products/fixed-and-functional/fixed-and-functional-jet>, <https://www.bronskorthodontics.com/appliances/fixe/carriere-motion-appliance-cma>

Fig.28. Sur-corrrection d'un mouvement d'ingression du secteur antérieur

Fig.29. Illustration d'une égression relative

Source : *. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign*<sup>36</sup>

Fig.30. Illustration d'une sur-corrrection

Source : *. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign*<sup>36</sup>

Fig.31. Tableau de prédictibilité en fonction des mouvements et des corrections souhaités

Fig.32. Graphique évaluant l'évolution de l'efficacité des mouvements par aligneurs au cours des études

Fig.33. Examen photographique pré-traitement, mars 2017.

Source : *Courtoisie du Dr. Arlette OUEISS (pratique hospitalière, CHU de Nice)*

Fig.34. Radiographie panoramique

Source : *documents du dossier patient*

Fig.35. Téléradiographie de profil et tracé céphalométrique

Source : *documents du dossier patient*

Fig.36. Chevrons

Fig.37. Boîte de Steiner

Fig.38. Tableau diagnostic

Fig.39. ClinCheck initial 1 validé, juin 2017.

Source : *Invisalign Doctor Site*

Fig.40. Élastiques de Classe II, ici via un bouton en V de 46 et un precision cut en V de 13

Source : *Invisalign Doctor Site*

Fig.41. Examen photographique lors de la réévaluation du cas, juin 2019 (fin théorique) comparé à la fin de traitement.

Sources : *Invisalign Doctor Site et documents du dossier patient*

Fig.42. ClinCheck initial 2 validé, juillet 2019

Fig.43. Examen photographique de fin de traitement, septembre 2020, comparé à la fin de traitement prédite par le 2<sup>ème</sup> ClinCheck.

Fig.44. Comparaison des valeurs céphalométriques avant/après traitement

Fig.45. Analyse du cas avant/après traitement

Fig.46. Radiographie panoramique du 25/09/2020

Source : *documents du dossier patient*

Fig.47. Points de référence pour l'étude de la forme d'arcade

Source : *logiciel 3D Slicer*

Fig.48. Modèle maxillaire obtenu par superposition qualitative

Source : *logiciel 3D Slicer*

Fig.49. Modèle obtenu par superposition quantitative

Source : *logiciel 3D Slicer*

Fig.50. Tableau répertoriant les valeurs des coordonnées initiales, finales, et leurs différences.

Fig.51. Moyenne des différences obtenues

Fig.52. Coordonnées des dents

Fig.53. Représentation du décalage de la dent concernée

Source : *logiciel 3D Slicer*

Fig.54. Calcul des largeurs d'arcade

Source : *logiciel 3D Slicer*

Fig.55. Calcul du torque de la 21

Source : *logiciel 3D Slicer*

# Autorisation d'utilisation de l'image

 Centre Hospitalier Universitaire de Nice UNIVERSITE COTE D'AZUR	<b>Pôle Communication</b> <b>DROIT A L'IMAGE</b> <b>DEMANDE D'AUTORISATION DE CAPTATION</b> <b>ET D'UTILISATION DE L'IMAGE D'UNE</b> <b>PERSONNE</b>	<b>Cimiez</b> <b>MAN/COM/GE/NI/001/01/08</b>	Page 1 / 1
	Creation: 6/11/2007	M à J: 25/08/2015	Vérification: /08/2015
	Approbation: 14/10/2008	Diffusion:	Application: immédiate
	Mise à jour : M. RAJZMAN, D. SPATAFORA, I. BATTAREL Validité : permanente		

## Demande d'autorisation de captation et d'utilisation de l'image d'une personne

Reportage (photo ou vidéo) réalisé à (unité, site) Hôpital Saint-Roch

• Vous êtes :

- Un patient majeur 
 Un patient sous tutelle   
 Un patient mineur 
 Un membre du personnel

Je soussigné (e), [nom et prénom du patient – si le patient est mineur ou sous tutelle indiquer le nom du représentant légal puis celui du patient]... G. Samantha

autorise le Centre Hospitalier Universitaire de NICE :

- A capter et à exploiter, à titre gracieux, mon image et mes propos pour le film ou documentaire réalisé.
- A diffuser ou publier les photos, le film ou l'interview réalisé(s).

J'accepte de ne recevoir aucune rémunération.

Ces photographies et/ou l'interview pourront être reproduites par le CHU de NICE dans le cadre des publications suivantes :

- Livret d'accueil  Journaux  Thèse   
 Dépliants, brochures, plaquettes, flyers,  Site Internet

Fait à Nice, le 18/11/20

En autant d'exemplaires que de signataires,

Signature du patient, ou du (des) représentant (s) légal (légaux),  
ou membre du personnel

*lu et approuvé*  


Signature du photographe et/ou  
de l'intervenant.



### A noter

Il est porté à la connaissance de la personne intéressée qu'elle n'est en aucune façon tenue d'accepter d'être photographiée ou d'être interviewée.

Il est également rappelé que le lieu d'hospitalisation pourra être connu du public.

Le CHU de NICE ne peut être tenu responsable de la diffusion d'informations diffusées ou autorisées par le patient lui-même ou son (ses) représentant(s) légal (légaux).

- 1 exemplaire du formulaire est remis au patient ou membre du personnel
- 1 exemplaire (copie) du formulaire est conservé par le service de la communication

## *Serment d'Hippocrate*

*En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'Hippocrate,*

*Je promets et je jure, au nom de l'Être Suprême, d'être fidèle aux lois de l'Honneur et de la probité dans l'exercice de La Médecine Dentaire.*

*Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.*

*Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui se passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.*

*Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon Devoir et mon patient.*

*Je garderai le respect absolu de la vie humaine dès sa conception.*

*Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'Humanité.*

*Respectueux et reconnaissant envers les Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*

*Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses,*

*Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.*

## **Approbation – Improbation**

Les opinions émises par les dissertations présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, sans aucune approbation ou improbation de la Faculté de Chirurgie dentaire (1).

Lu et approuvé,

Vu,  
Nice, le

Le Président du jury,

Le Doyen de la Faculté de  
Chirurgie Dentaire de l'UNS

Professeur

Professeur Laurence LUPI

(1) Les exemplaires destinés à la bibliothèque doivent être obligatoirement signés par le Doyen et par le Président du Jury.

**Nicolas MARSIL**

# ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ DES MOUVEMENTS PAR ALIGNEURS INVISALIGN® EN 2020

**Thèse** : Chirurgie Dentaire, Nice, 2021, n°42-57-21-09

**Directeur de thèse** : Professeur MANIERE-EZVAN Armelle

**Mots-clés** : Aligneurs, Invisalign, Mouvements dentaires, Efficacité, Prédicibilité.

## **Résumé** :

Les aligneurs sont actuellement en perpétuel progrès. Constatamment, de nouvelles méthodes et de nouvelles avancées sont découvertes dans ce domaine et permettent l'évolution de la technique. Cependant, il subsiste certains points à éclairer : comment expliquer que certains praticiens observent une différence entre le résultat prédit par le ClinCheck et le résultat obtenu en clinique ?

L'objectif de ce travail a été de mettre en évidence une réponse à cette question à travers une analyse de l'efficacité des mouvements, et la superposition de modèles étudiés lors d'un cas clinique.

L'efficacité des mouvements fait partie intégrante de l'évolution de la technique, mais nous avons pu remarquer une différence de prédictibilité entre chacun d'eux. Ainsi, certains seront plus efficaces que d'autres en fonction de la situation. Mais c'est aussi au praticien de savoir agir dessus, lors du ClinCheck, à l'aide de ses connaissances, de l'apport de techniques auxiliaires et de sur-corrections.

Enfin, une évaluation de la différence obtenue entre résultat prédit par le ClinCheck et résultat obtenu en clinique a été mise en évidence au travers d'un cas clinique et d'une méthode de superposition reproductible, pouvant être par ailleurs mise en place, lors de futures recherches sur l'efficacité des mouvements par aligneurs.