

Université de Montréal

**Traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie  
orthognatique avec Invisalign<sup>®</sup> : revue de la durée de  
traitement et des résultats obtenus**

par

Pascale Robitaille

Département de santé buccale – Section d'orthodontie  
Faculté de médecine dentaire

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise en Science (M.Sc.)  
en médecine dentaire  
option orthodontie

Février 2016

© Pascale Robitaille, 2016

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

**Traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique avec Invisalign<sup>®</sup> : revue  
de la durée de traitement et des résultats obtenus**

présenté par:

Dre Pascale Robitaille

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Dre Clarice Nishio  
présidente-rapporteur

Dre Athena Papadakis  
directrice de recherche

Dr Sam Daher  
codirecteur

Dr André Martel  
codirecteur

Dr Réjean Labrie  
membre du jury

## Résumé

**INTRODUCTION** Il existe actuellement de nombreuses options esthétiques de traitement pour corriger orthodontiquement les malocclusions dentaires. Le standard de traitement en chirurgie orthognatique est d'utiliser des boîtiers conventionnels fixes. Récemment, une nouvelle technique gagne en popularité en pratique privée : l'utilisation de coquilles d'alignement transparentes comme alternative esthétique. La littérature actuelle sur ce sujet consiste exclusivement de rapports de cas. Ainsi, il semble raisonnable d'affirmer que davantage de recherche est nécessaire sur ce sujet.

**OBJECTIFS** L'objectif principal de cette étude rétrospective est d'évaluer la qualité des résultats obtenus à la suite de traitements combinés d'orthodontie et de chirurgie orthognatique en utilisant le système Invisalign<sup>®</sup>, en comparaison avec les boîtiers orthodontiques traditionnels. L'objectif secondaire de comparer la durée de traitement entre les deux systèmes.

**MATÉRIEL/MÉTHODES** Quarante-neuf patients ont été recrutés en provenance de deux pratiques orthodontiques privées (24 Invisalign<sup>®</sup> / 25 contrôles de boîtiers fixes). Les deux groupes étaient initialement similaires, tel que mesuré par le Discrepancy Index de l'American Board of Orthodontics. Les résultats finaux ont été évalués en utilisant l'outil Phase III (Model Grading System) de l'American Board of Orthodontics.

**RÉSULTATS** Les scores moyens de chaque catégorie du Model Grading System étaient supérieurs pour le groupe Invisalign<sup>®</sup> et une différence significative existait entre les groupes pour les catégories d'alignement, de contacts occlusaux, d'angulation des racines et de score total. Les durées de la préparation pré-chirurgicale et du traitement total se sont révélées plus courtes pour le groupe Invisalign<sup>®</sup> ( $p \leq 0.05$ ).

**CONCLUSION** Invisalign<sup>®</sup> a produit des traitements combinés d'orthodontie et de chirurgie orthognatique plus courts que les boîtiers traditionnels. Par contre, des scores du Model Grading System supérieurs ont été répertoriés lorsque comparés avec les boîtiers conventionnels, signifiant la production de résultats de qualité inférieure à la technique traditionnelle fixe.

**MOTS CLÉS** *Orthodontie, Chirurgie orthognatique, Invisalign, Coquilles d'alignement, Malocclusion*

# Abstract

**INTRODUCTION** Numerous esthetic orthodontic treatment options currently exist to correct dental malocclusions. The gold standard in orthognathic surgery is to use bonded orthodontic brackets. Recently, clear aligners have been proposed as an alternative. The current available literature on this topic consists exclusively of case reports. Therefore, it seems reasonable to assume that further research is needed on this topic.

**OBJECTIVE** The primary objective of this retrospective study aims to evaluate the quality of the outcomes of combined orthodontic and surgical treatments with Invisalign<sup>®</sup> when compared with conventional orthodontic treatments. The secondary objective is to compare the duration of treatment between Invisalign<sup>®</sup> and conventional brackets.

**MATERIAL/METHODS** Forty-nine patients were recruited from two orthodontic private practices (24 Invisalign<sup>®</sup> / 25 bracket controls). Both groups were initially similar, as per the ABO Discrepancy Index. The results were assessed using the ABO Phase III method (MGS).

**RESULTS** The MGS mean scores were consistently higher for Invisalign<sup>®</sup> and there was a significant difference between the groups regarding alignment, occlusal contacts, root angulations and total score. The duration of pre-surgical preparation and the total treatment time were shorter for the Invisalign<sup>®</sup> group ( $p \leq 0.05$ ).

**CONCLUSION** Invisalign<sup>®</sup> provided faster combined orthodontic and orthognathic surgery treatment, yet demonstrated inferior quality of results when compared to conventional brackets using the MGS.

**KEY WORDS** *Orthodontics, Orthognathic surgery, Invisalign, Clear aligners, Malocclusion*

# Table des matières

<b>RÉSUMÉ</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>II</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES</b>	<b>III</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>VII</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS</b>	<b>X</b>
<b>REMERCIEMENTS</b>	<b>XII</b>
<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>2. REVUE DE LA LITTÉRATURE</b>	<b>4</b>
<b>2.1. MALOCCCLUSIONS DENTAIRES ET SQUELETTIQUES</b>	<b>4</b>
2.1.1. CLASSIFICATION DENTAIRE – HISTORIQUE ET NOMENCLATURE	4
2.1.2. CLASSIFICATION SQUELETTIQUE	6
2.1.2.1. Analyse antéro-postérieure	6
2.1.2.2. Analyse transverse	7
2.1.2.3. Analyse verticale	8
2.1.3. PRÉVALENCE DES MALOCCCLUSIONS	10
2.1.3.1. Prévalence	10
2.1.3.2. Sexe	10
2.1.3.3. Ethnie	10
2.1.4. PLANIFICATION DU TRAITEMENT	11
2.1.4.1. Modification de croissance	11
2.1.4.2. Camouflage orthodontique	12
2.1.4.3. Enveloppe de mouvements	13
<b>2.2. CHIRURGIE ORTHOGNATIQUE</b>	<b>14</b>
2.2.1. INTRODUCTION	14

2.2.2.	HISTORIQUE	14
2.2.3.	OPTIONS CHIRURGICALES	16
2.2.3.1.	Choix du type de chirurgie	16
2.2.3.2.	Motivations des patients envers le choix chirurgical	18
2.2.3.3.	Changements au niveau des tissus mous associés à la chirurgie orthognatique	19
2.2.4.	TECHNIQUES CHIRURGICALES MANDIBULAIRES	20
2.2.4.1.	Ostéotomie sagittale bilatérale	20
2.2.4.2.	Ostéotomie verticale intra-orale du ramus mandibulaire	24
2.2.4.3.	Génioplastie	24
2.2.5.	TECHNIQUES CHIRURGICALES MAXILLAIRES	24
2.2.5.1.	Ostéotomie de LeFort I	24
2.2.5.2.	Ostéotomie de LeFort I multisegmentée	26
2.2.5.3.	Expansion palatine rapide assistée chirurgicalement (EPRAC)	27
2.2.6.	FIXATIONS OSSEUSES	27
2.2.7.	STABILITÉ	28
2.2.7.1.	Hiérarchie de stabilité	28
2.2.7.2.	Facteurs influençant la stabilité	29
2.2.8.	RISQUES ET COMPLICATIONS	30
2.2.8.1.	Problèmes neuraux	30
2.2.8.2.	Problèmes infectieux	32
2.2.8.3.	Désordres temporo-mandibulaires	32
2.2.8.4.	Problèmes vasculaires	33
2.2.8.5.	Fractures	33
2.2.8.6.	Autres complications	33
<b>2.3.</b>	<b>TRAITEMENT COMBINÉ D'ORTHODONTIE ET DE CHIRURGIE ORTHOGNATIQUE</b>	<b>35</b>
2.3.1.	PRÉPARATION ORTHODONTIQUE PRÉ-CHIRURGICALE	35
2.3.1.1.	Choix des appareils orthodontiques	35
2.3.1.2.	Objectifs pré-chirurgicaux	35
2.3.1.3.	Préparation pré-chirurgicale	36
2.3.2.	FINITION ORTHODONTIQUE POST-CHIRURGICALE	36
<b>2.4.</b>	<b>INVISALIGN®</b>	<b>38</b>
2.4.1.	HISTORIQUE	38
2.4.2.	DESCRIPTION ET INDICATIONS	38

2.4.3.	FONCTIONNEMENT	40
2.4.4.	EFFICACITÉ	45
2.4.5.	BIOMÉCANIQUE APPLIQUÉE À INVISALIGN®	46
2.4.5.1.	Concepts de base - Définitions	46
2.4.5.2.	Biomécanique d'Invisalign®	48
2.4.6.	LIMITATIONS DU SYSTÈME	48
2.4.7.	CHIRURGIE ORTHOGNATIQUE ET INVISALIGN®	49
<b>2.5.</b>	<b>MÉTHODES D'ÉVALUATION DES CAS</b>	<b>50</b>
2.5.1.	HISTORIQUE DE L'AMERICAN BOARD OF ORTHODONTICS (ABO)	50
2.5.2.	MODEL GRADING SYSTEM	50
2.5.3.	MODÈLES NUMÉRIQUES	52
<b>3.</b>	<b>PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES</b>	<b>55</b>
<b>3.1.</b>	<b>PROBLÉMATIQUE</b>	<b>55</b>
<b>3.2.</b>	<b>OBJECTIFS</b>	<b>55</b>
<b>3.3.</b>	<b>HYPOTHÈSES</b>	<b>56</b>
<b>4.</b>	<b>MATÉRIEL ET MÉTHODES</b>	<b>58</b>
<b>4.1.</b>	<b>COMITÉ D'ÉTHIQUE</b>	<b>58</b>
<b>4.2.</b>	<b>ÉCHANTILLONNAGE</b>	<b>58</b>
<b>4.3.</b>	<b>DONNÉES RECUEILLIES</b>	<b>59</b>
<b>4.4.</b>	<b>MATÉRIEL ET MÉTHODES</b>	<b>60</b>
<b>4.5.</b>	<b>ANALYSE DE FIABILITÉ</b>	<b>61</b>
<b>4.6.</b>	<b>ANALYSE STATISTIQUE</b>	<b>62</b>
<b>5.</b>	<b>ARTICLE</b>	<b>65</b>
<b>5.1.</b>	<b>ABSTRACT</b>	<b>66</b>
<b>5.2.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>67</b>
<b>5.3.</b>	<b>MATERIALS AND METHODS</b>	<b>68</b>
5.3.1.	ETHICS COMMITTEE APPROVAL	68
5.3.2.	STUDY POPULATION	68
5.3.3.	DATA COLLECTED	69
5.3.4.	MATERIAL AND METHODS	69

5.3.5. DATA ANALYSIS	71
5.3.5.1. Reliability analysis	71
5.3.5.2. Statistical analysis	72
<b>5.4. RESULTS</b>	<b>73</b>
<b>5.5. DISCUSSION</b>	<b>79</b>
<b>5.6. CONCLUSION</b>	<b>83</b>
<b>6. DISCUSSION</b>	<b>86</b>
<b>6.1. INTÉRÊT DE L'ÉTUDE</b>	<b>86</b>
<b>6.2. RÉSULTATS</b>	<b>86</b>
<b>6.3. LIMITATIONS DE L'ÉTUDE</b>	<b>91</b>
<b>7. CONCLUSION</b>	<b>95</b>
<b>8. BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>97</b>
<b>9. ANNEXES</b>	<b>106</b>
ANNEXE 1 : FORMULAIRE DU DISCREPANCY INDEX DE L'ABO	106
ANNEXE 2 : FORMULAIRE DU CAST - RADIOGRAPH EVALUATION FORM DE L'ABO	107



# Liste des tableaux

<b>TABLEAU 1</b> LES 6 CLÉS DE L'OCCLUSION D'ANDREWS	5
<b>TABLEAU 2</b> CAMOUFLAGE DENTAIRE D'UNE MALOCCLUSION SQUELETTIQUE	12
<b>TABLEAU 3</b> DISHARMONIES SQUELETTIQUES ET TYPES DE CHIRURGIE ASSOCIÉS	17
<b>TABLEAU 4</b> MOTIVATIONS DES PATIENTS ENVERS LA CHIRURGIE ORTHOGNATIQUE	18
<b>TABLEAU 5</b> VARIATIONS AU NIVEAU DES TISSUS MOUS À LA SUITE D'UNE CHIRURGIE ORTHOGNATIQUE	20
<b>TABLEAU 6</b> PRÉSENTATION CLINIQUE DES ATTEINTES NERVEUSES	31
<b>TABLEAU 7</b> ATTACHES DISPONIBLES AVEC LE SYSTÈME INVISALIGN®	42
<b>TABLEAU 8</b> MOUVEMENT DENTAIRE ET RATIO M/F	47
<b>TABLEAU 9</b> CRITÈRES D'ÉVALUATION DU MODEL GRADING SYSTEM DE L'ABO	51
<b>TABLEAU 10</b> DESCRIPTION DES POINTS ET REPÈRES CÉPHALOMÉTRIQUES ANALYSÉS SELON L'ABO	61
<b>TABLEAU 11</b> INTERPRÉTATION CONVENTIONNELLE DE L'ICC	62
<b>TABLEAU 12</b> DESCRIPTION OF CEPHALOMETRIC LANDMARKS AS ANALYSED BY THE ABO	71
<b>TABLEAU 13</b> CONVENTIONAL INTERPRETATION OF ICC	72
<b>TABLEAU 14</b> DISCREPANCY INDEX MEAN SCORES TO ASSESS CASE COMPLEXITY (INDEPENDENT SAMPLES MANN-WHITNEY U TEST USED TO EVALUATE DIFFERENCES BETWEEN GROUPS)	74
<b>TABLEAU 15</b> MODEL GRADING SYSTEM (PHASE III) MEAN SCORES TO ASSESS TREATMENT OUTCOMES (INDEPENDENT SAMPLES MANN-WHITNEY U TEST USED TO EVALUATE DIFFERENCES BETWEEN GROUPS)	75
<b>TABLEAU 16</b> CORRELATION BETWEEN THE MGS, THE DIFFERENT DI CRITERIA AND THE TOTAL DI SCORE	76
<b>TABLEAU 17</b> MGS SCORES REPARTITION BETWEEN INVISALIGN® AND CONTROL GROUP	77
<b>TABLEAU 18</b> DURATION OF TREATMENT IN DAYS ACCORDING TO DIFFERENT KEY TIMES	77
<b>TABLEAU 19</b> CORRELATION BETWEEN THE DURATION OF TREATMENT, THE DIFFERENT DI CRITERIA AND THE TOTAL DI SCORE FOR THE INVISALIGN® GROUP	78
<b>TABLEAU 20</b> CORRELATION BETWEEN THE DURATION OF TREATMENT, THE DIFFERENT DI CRITERIA AND THE TOTAL DI SCORE FOR THE CONTROL GROUP	79
<b>TABLEAU 21</b> SCORES OF DISCREPANCY INDEX OF VARIOUS STUDIES FOR THE INVISALIGN® GROUP	81
<b>TABLEAU 22</b> SCORES DU DISCREPANCY INDEX DE DIFFÉRENTES ÉTUDES POUR LE GROUPE INVISALIGN®	89

# Liste des figures

<b>FIGURE 1</b> OCCLUSION NORMALE D'ANGLE	5
<b>FIGURE 2</b> MALOCCLUSION DE CLASSE I D'ANGLE	5
<b>FIGURE 3</b> MALOCCLUSION DE CLASSE II D'ANGLE	5
<b>FIGURE 4</b> MALOCCLUSION DE CLASSE III D'ANGLE	5
<b>FIGURE 5</b> RELATION SQUELETTIQUE NORMALE	7
<b>FIGURE 6</b> RELATION SQUELETTIQUE DE CLASSE II	7
<b>FIGURE 7</b> RELATION SQUELETTIQUE DE CLASSE III	7
<b>FIGURE 8</b> DIFFÉRENTS TYPES DE PROFILS ET MALOCCLUSION ASSOCIÉE	7
<b>FIGURE 9</b> OCCLUSION CROISÉE D'ORIGINE DENTAIRE	8
<b>FIGURE 10</b> OCCLUSION CROISÉE D'ORIGINE SQUELETTIQUE	8
<b>FIGURE 11</b> PATRON DE CROISSANCE VERTICALE ET MALOCCLUSION ASSOCIÉE	9
<b>FIGURE 12</b> PATRON DE CROISSANCE HORIZONTALE ET MALOCCLUSION ASSOCIÉE	9
<b>FIGURE 13</b> ENVELOPPE DE MOUVEMENTS À LA MANDIBULE	13
<b>FIGURE 14</b> ENVELOPPE DE MOUVEMENTS AU MAXILLAIRE	13
<b>FIGURE 15</b> OSTÉOTOMIE SAGITTALE – INCISION	23
<b>FIGURE 16</b> OSTÉOTOMIE SAGITTALE – DISSECTION	23
<b>FIGURE 17</b> OSTÉOTOMIE SAGITTALE – ÉPINE DE SPYX	23
<b>FIGURE 18</b> OSTÉOTOMIE SAGITTALE – TRAIT VERTICAL	23
<b>FIGURE 19</b> OSTÉOTOMIE SAGITTALE – TRAIT BUCCAL	23
<b>FIGURE 20</b> OSTÉOTOMIE SAGITTALE – SÉPARATION	23
<b>FIGURE 21</b> OSTÉOTOMIE SAGITTALE – FIXATION	23
<b>FIGURE 22</b> LEFORT I – INCISION	26
<b>FIGURE 23</b> LEFORT I – DISSECTION	26
<b>FIGURE 24</b> LEFORT I – TRAITS D'OSTÉOTOMIE	26
<b>FIGURE 25</b> LEFORT I – OSTÉOTOMIE EN MARCHE D'ESCALIER	26
<b>FIGURE 26</b> LEFORT I – RETRAIT DE L'ENA ET DISSECTION DU VOMER	26
<b>FIGURE 27</b> LEFORT I – MOBILISATION	26
<b>FIGURE 28</b> HIÉRARCHIE DE LA STABILITÉ DES MOUVEMENTS CHIRURGICAUX	29
<b>FIGURE 29</b> CLINCHECK®	41
<b>FIGURE 30</b> POWER RIDGE	43
<b>FIGURE 31</b> POINT DE PRESSION	43
<b>FIGURE 32</b> IPR AVEC BANDE SABLÉE	44
<b>FIGURE 33</b> IPR AVEC DISQUE SABLÉ	44

<b>FIGURE 34</b> IPR AVEC FRAISE DIAMANTÉE	44
<b>FIGURE 35</b> VÉRIFICATION DE L'IPR	44
<b>FIGURE 36</b> TRACÉ CÉPHALOMÉTRIQUE LATÉRAL	60
<b>FIGURE 37</b> - LATERAL CEPHALOMETRIC TRACING	70
<b>FIGURE 38</b> - COMPOSITION OF EXPERIMENTAL GROUP	73
<b>FIGURE 39</b> - TYPES OF SURGERY IN EXPERIMENTAL GROUP	73
<b>FIGURE 40</b> - COMPOSITION OF CONTROL GROUP	74
<b>FIGURE 41</b> - TYPES OF SURGERY IN CONTROL GROUP	74

## Liste des abréviations

ABO :	American Board of Orthodontics
ATM :	Articulation temporo-mandibulaire
CAD-CAM :	Computerized Aided Design – Computer Aided Manufacture
CBCT :	Cone Beam Computed Tomography
C-R Eval :	Cast-Radiograph Evaluation
CS :	Cervical Stage
DI :	Discrepancy Index
DTM :	Désordres temporo-mandibulaires
EPRAC :	Expansion palatine rapide assistée chirurgicalement
HFI :	Hauteur faciale inférieure
ICC :	Coefficient de corrélation inter-classe
IPR :	Réduction interproximale (Interproximal reduction)
MGS :	Model Grading System
NHANES :	National Health and Nutrition Estimates Survey
OGS :	Objective Grading System
SARPE :	Surgically assisted rapid palatal expansion

*Pour ma mère, qui m'a tout donné,  
Pour mon père, qui serait fier,  
Pour mon beau-père, qui m'aime comme sienne,  
Pour Mathieu, qui rend chaque jour ma vie plus belle.*

## Remerciements

Je souhaite premièrement remercier ma directrice, Dre. Athena Papadakis, qui m'a permis de reprendre les rênes de ce beau projet. Je vous remercie pour votre positivisme, pour votre aide précieuse à toutes les étapes, pour vos encouragements continuels et pour vos conseils judicieux. Je remercie mes codirecteurs Dr. Sam Daher et Dr. André Martel, pour votre aide essentielle dans ce projet et sans laquelle il n'aurait pu exister. Merci pour votre enthousiasme vis-à-vis ce projet innovateur et le temps investi pour me procurer les patients nécessaires à le mener à bon port.

Je désire ensuite remercier Dre. Clarice Nishio et Dr. Réjean Labrie, d'avoir aimablement accepté de faire partie de mon jury d'évaluation. Je vous remercie pour votre disponibilité et votre dévouement, de même que pour le temps précieux que vous avez accepté d'investir dans la correction de ce projet.

J'aimerais ensuite remercier Dr. Claude Remise, pour m'avoir permis d'accomplir mon rêve de devenir orthodontiste. Merci pour votre dévouement inégalé et pour votre travail incessant à faire de nous les meilleurs orthodontistes qui soient.

Je souhaite également remercier tout le corps professoral et les cliniciens dévoués de la Section, sans qui notre enseignement ne pourrait avoir lieu. Merci de m'avoir chaque jour transmis votre savoir, mais surtout votre passion pour cette magnifique profession.

Je veux sincèrement remercier mes collègues actuels (Mélanie, Julien, Charles, Jérémie, Léa, Maude, Pauline, Aurélie et Michaël), de même que mes collègues seniors (Claire, Vincent, Jennifer, Clarice, Kenneth, Dong Phung, Jean et Judith) pour tous les beaux moments passés ensemble. Vous avez grandement contribué à me faire passer trois magnifiques années.

De sincères remerciements à mes collègues de classe, Natasha, Cynthia et Caroline. Merci à vous trois pour votre amitié sincère et chaque moment passé à vos côtés. Ces trois dernières années furent fantastiques grâce à vous !

Enfin, je souhaite remercier ma mère, pour son amour et pour le soutien quotidien qu'elle m'a offert lors de ce long périple. Merci pour ton positivisme et ton réconfort qui m'ont permis de me rendre jusqu'au bout. Merci à mon Doudou, pour ses conseils judicieux, son mot qui fait toujours sourire et son amour inconditionnel. Enfin, merci à Mathieu, pour sa patience d'or, son soutien constant et son aide inégalée tout au long des trois dernières années. Je vous aime, vous êtes tout pour moi.

# **Introduction**



# 1. Introduction

Au fil des dernières années, le milieu orthodontique a vu apparaître de nombreuses alternatives esthétiques de traitement afin de répondre à la demande grandissante des patients à cet égard. Le fait que la population adulte est de plus en plus intéressée à recevoir des traitements orthodontiques a également joué un rôle à ce niveau. À ce jour, 30% de la clientèle orthodontique aux États-Unis est représentée par les 40 ans et plus (1). Certains patients considèrent que l'esthétique est aussi importante, au sein d'un traitement orthodontique, que le coût, la douleur ressentie, le bien-être général et la durée de traitement (2). De ce fait, les différentes malocclusions dentaires peuvent être traitées grâce à ces diverses options esthétiques, telles que les boîtiers de porcelaine, les appareillages linguaux et les coquilles d'alignement.

Tout d'abord, les boîtiers transparents furent introduits au début des années 80, lorsque l'adhésion devint assez efficace pour ne plus nécessiter l'utilisation de bagues. L'engouement autour des boîtiers transparents fabriqués à partir de plastique ne dura toutefois pas, ceux-ci se décolorent facilement, ayant une faible stabilité dimensionnelle et causant une grande friction avec le fil orthodontique. Des boîtiers esthétiques en céramique virent donc le jour vers la fin des années 80 pour répondre à ces diverses problématiques. Leur bonne stabilité dimensionnelle, de même que la possibilité d'y inclure des inclinaisons précises au niveau du boîtier même, mais aussi de sa lumière, en ont fait une alternative esthétique efficace au boîtier conventionnel (1). Des fils fabriqués à base de polymères transparents ou translucides peuvent également être dorénavant utilisés. Certains auteurs indiquent que de tels fils permettraient même d'obtenir des propriétés physiques semblables aux fils de bêta-titane ou de nickel-titane, tout en ayant l'avantage de présenter un esthétisme supérieur (3).

Les boîtiers linguaux ont également fait leur apparition vers les années 80, mais la majorité des orthodontistes nord-américains abandonnèrent cette technique, découragés par la difficulté d'utilisation et l'inconfort des patients en raison de la proximité avec la langue. Récemment, la technologie de fabrication assistée par ordinateur a facilité le développement de la technique et en permet désormais l'utilisation plus efficace et simplifiée (1).

Finalement, l'option des coquilles d'alignement transparentes a été popularisée à la fin des années 90 par la compagnie Align Technology sous l'appellation Invisalign® (États-Unis, 2000-2015). Kesling avait décrit, aussi tôt qu'en 1945, l'utilisation de positionneurs dentaires à base de silicone pour une meilleure finition orthodontique (4). Préalablement à l'avancée technologique d'Invisalign®, il était uniquement possible de créer des mouvements dentaires mineurs grâce à des coquilles thermoformées appelées Essix (Dentsply, États-Unis). Celles-ci étaient fabriquées à partir de modèles de plâtres, auxquels on incorporait les mouvements voulus, avant de fabriquer la coquille (1). Align Technology a su prendre avantage de la technologie CAD-CAM permettant la fabrication d'une série de coquilles transparentes amovibles menant graduellement à la correction de la malocclusion dentaire (5).

Ces diverses options disponibles permettent donc de choisir une alternative esthétique lors de la correction des malocclusions dentaires. Mais qu'en est-il des malocclusions squelettiques ? Puisqu'elles ne peuvent être corrigées uniquement par orthodontie et par camouflage, les malocclusions sévères nécessitent le recours à un traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique. Ceci permet alors de repositionner les segments dentoalvéolaires dans une position idéale (1). La combinaison de la chirurgie orthognatique au traitement d'orthodontie avec boîtiers fixes étant la norme dans le domaine, ce n'est que tout récemment qu'on a vu apparaître l'idée de combiner l'utilisation des coquilles d'alignement transparentes à la chirurgie orthognatique.

Jusqu'à maintenant, la seule littérature disponible sur ce sujet est sous forme d'études de cas. De ce fait, il est possible d'affirmer que davantage de recherches sont nécessaires. Le présent projet a pour but d'évaluer la durée de traitement et la qualité des résultats obtenus des traitements combinés d'orthodontie et de chirurgie orthognatique en utilisant la technique Invisalign®, en comparaison avec les traitements conventionnels.

## **Revue de la littérature**

## **2. Revue de la littérature**

### **2.1. Malocclusions dentaires et squelettiques**

#### **2.1.1. Classification dentaire – Historique et nomenclature**

Edwards H. Angle a grandement contribué à l'avancement de l'orthodontie, grâce entre autres à sa définition, dans les années 1890, de l'occlusion normale et des diverses malocclusions. Il utilisait les premières molaires permanentes comme déterminants de l'occlusion. Selon sa définition, dans une occlusion normale, la cuspide mésiale de la première molaire supérieure est en occlusion avec le sillon buccal de la première molaire inférieure (6). (Figure 1) La malocclusion dentaire de classe I se définit par une relation molaire de classe I, mais où du chevauchement ou des rotations sont présents. (Figure 2) La malocclusion de classe II est définie par la position distale de la molaire inférieure par rapport à la position dite normale. (Figure 3) La malocclusion de classe II comprend deux divisions. La première se caractérise par des incisives supérieures proclinées, engendrant un surplomb horizontal augmenté. Le surplomb vertical varie de profond à ouvert. La seconde se distingue par une linguoversion des incisives centrales supérieures, accompagnées ou non des incisives latérales. Il est courant d'y observer un surplomb horizontal minime et un surplomb vertical exagéré (7). À l'opposé de la malocclusion de classe II, la classe III est définie par une position plus mésiale de la molaire inférieure. (Figure 4) Le terme subdivision est utilisé au sein de toute malocclusion pour décrire une composante asymétrique.

Peu à peu, il a été observé au travers de la communauté scientifique que l'occlusion n'était pas toujours parfaite, malgré la présence d'une relation molaire de classe I d'Angle (8). Ceci a mené Andrews à étudier 120 occlusions dites « normales » qui ne requéraient pas de traitement orthodontique. Grâce à ses observations il a ainsi pu produire six clés indicatrices d'une occlusion optimale (8,9). (Tableau 1)



**Figure 1** Occlusion normale d'Angle



**Figure 2** Malocclusion de classe I d'Angle



**Figure 3** Malocclusion de classe II d'Angle



**Figure 4** Malocclusion de classe III d'Angle

*Images tirées de Orthodontics : Current Principles and Techniques par Graber, 2012*

**Tableau 1** Les 6 clés de l'occlusion d'Andrews

Clé de l'occlusion	Description
1 <sup>ère</sup> Relation molaire	La surface distale de la cuspide disto-buccale de la première molaire supérieure permanente entre en contact et s'articule avec la surface mésiale de la cuspide mésio-buccale de la première molaire inférieure permanente.  Les canines et les prémolaires doivent entretenir une relation cuspide à embrasure au buccal et une relation cuspide à fosse au lingual.
2 <sup>ième</sup> Angulation coronaire « tip »	Tous les axes longs des couronnes doivent avoir une angulation positive, c'est-à-dire être angulées mésialement.
3 <sup>ième</sup> Inclinaison coronaire « torque »	Les incisives sont inclinées buccalement.  Les postérieures supérieures sont inclinées lingualemment et les molaires le sont davantage que les canines et les prémolaires.  Les postérieures inférieures sont inclinées lingualemment, de façon progressive des canines aux molaires.
4 <sup>ième</sup> Rotations	Aucune rotation indésirable ne doit être présente au sein de l'occlusion.
5 <sup>ième</sup> Points de contact	Les contacts interdentaires sont serrés.
6 <sup>ième</sup> Plan occlusal	Le plan occlusal démontre une courbe de Spee plate à légèrement courbée

La communauté scientifique s'est ensuite aperçue que l'obtention d'une occlusion parfaite se faisait parfois au détriment de l'apparence faciale. Ceci a permis la réintroduction du concept d'extraction (abandonné initialement par Angle) permettant l'obtention de cas plus stables et à l'esthétique faciale augmentée (1). Les patients ne peuvent être tous traités de la même façon et la décision d'extraire ou non dépend de nombreux facteurs squelettiques, dentaires et esthétiques. Malgré tout, la classification d'Angle est encore couramment utilisée par les orthodontistes, étant donné sa relative simplicité (7).

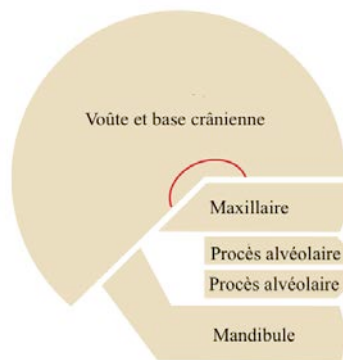
### **2.1.2. Classification squelettique**

La popularisation de la radiographie au milieu du 20<sup>ième</sup> siècle a permis l'utilisation plus courante de la radiographie céphalométrique latérale par les orthodontistes, permettant l'analyse du massif cranio-facial dans son ensemble. Ceci a permis de démontrer clairement que les malocclusions dentaires étaient bien souvent liées à une malposition maxillaire, mandibulaire ou une combinaison des deux (1). Il est donc important de savoir diagnostiquer les types de disharmonies squelettiques et de savoir repérer leurs associations aux malocclusions dentaires (10,11). L'analyse squelettique du patient se fait selon différents plans, permettant une description adéquate du patient en trois dimensions.

#### **2.1.2.1. Analyse antéro-postérieure**

La classification traditionnelle d'Angle est utilisée pour l'analyse sagittale du patient, tout en spécifiant si la déviation de la normale se caractérise comme étant dentoalvéolaire, squelettique ou combinée (6). Le massif cranio-facial est subdivisé « en tiroirs », permettant une description détaillée de la malocclusion. (Figure 5) Ainsi, la malocclusion squelettique peut être engendrée par une malposition du tiroir mandibulaire, maxillaire ou des tiroirs dentoalvéolaires, seuls ou en différentes combinaisons. La malocclusion de classe II pourra être causée par une rétrusion de la mandibule, un prognathisme maxillaire ou bien une combinaison des deux. (Figure 6) De façon opposée, la malocclusion de classe III se caractérisera, par exemple, par un prognathisme mandibulaire et/ou une hypoplasie maxillaire. (Figure 7) L'analyse du profil du patient est intimement liée à cette dimension. Le profil peut être convexe, droit ou concave. Un

profil droit est généralement synonyme d'une relation squelettique de classe I ou d'une malocclusion dentaire de classe I. Le profil convexe est souvent lié à la classe II, alors que le profil concave est plus fréquemment rencontré dans les malocclusions de classe III (1,9). (Figure 8)



**Figure 5** Relation squelettique normale

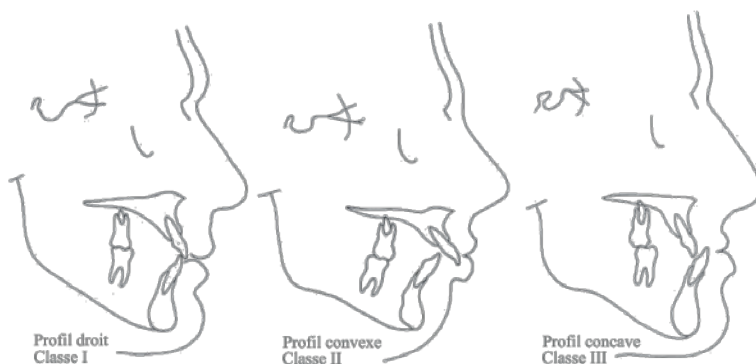


**Figure 6** Relation squelettique de classe II



**Figure 7** Relation squelettique de classe III

*Images adaptées de Orthodontics : Current Principles and Techniques par Graber, 2012*



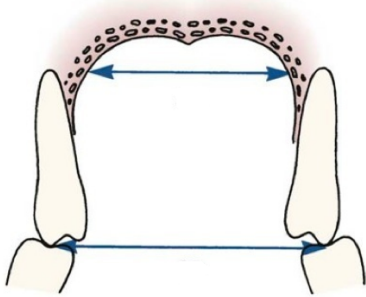
**Figure 8** Différents types de profils et malocclusion associée

*Images adaptées de Textbook of Orthodontics par Bishara, 2011*

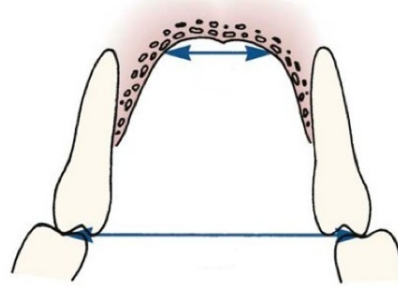
#### 2.1.2.2. Analyse transverse

L'analyse transverse est majoritairement basée sur la position bucco-linguale des dents postérieures en vue frontale. Comme l'analyse précédente, l'analyse transverse doit tenir compte de toutes les structures cranio-faciales, puisqu'une anomalie transverse peut intéresser les bases

osseuses, les procès alvéolaires ou les deux (12). L'anomalie transversale sera considérée d'origine dentaire lorsque les dents postérieures sont en occlusion croisée malgré une largeur palatine adéquate. (Figure 9) À l'opposé, l'anomalie transversale est d'origine squelettique lorsque l'origine est l'étroitesse du palais et du maxillaire (1). (Figure 10)



**Figure 9**  
Occlusion croisée d'origine dentaire



**Figure 10**  
Occlusion croisée d'origine squelettique

*Images adaptées de Contemporary Orthodontics par Proffit, 2012*

### 2.1.2.3. Analyse verticale

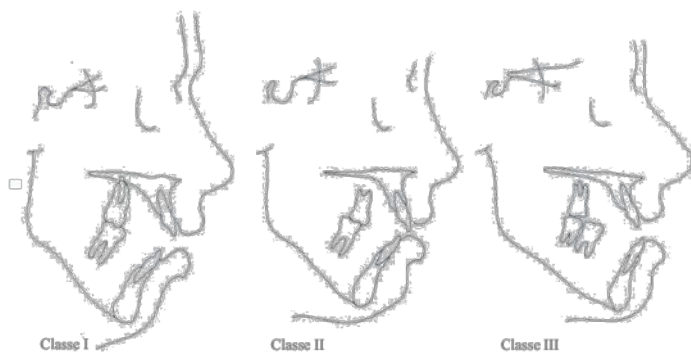
L'analyse verticale s'intéresse à la relation existant entre les tiers moyen et inférieur du visage. En moyenne, le tiers moyen occupe 44% de la hauteur faciale, les 56% restants étant attribués au tiers inférieur (13). Il est important de reconnaître les composantes d'une croissance verticale, puisqu'elle peut facilement camoufler la relation antéro-postérieure sous-jacente (9,13).

Plusieurs termes sont utilisés pour décrire les déviations verticales. On peut tout d'abord utiliser le terme normofacial, en vue frontale, pour décrire un visage dont les dimensions sont normales. Le terme brachyfacial fera référence à un visage plus large, caractérisé par une croissance horizontale, alors que dolicofacial décrira un visage plus allongé caractérisé par une croissance verticale. Ricketts popularisa ces termes en orthodontie, se basant sur l'anthropologie pour décrire les disharmonies entre les dimensions verticales et transverses du visage (12,14). Ensuite, l'analyse verticale peut se faire selon la divergence faciale, tel qu'introduit par Schudy et basé sur l'angle entre la base du crâne et le plan mandibulaire (12,13). Un patron de croissance hyperdivergent correspondra à un angle ouvert et démontrant une croissance verticale. Un



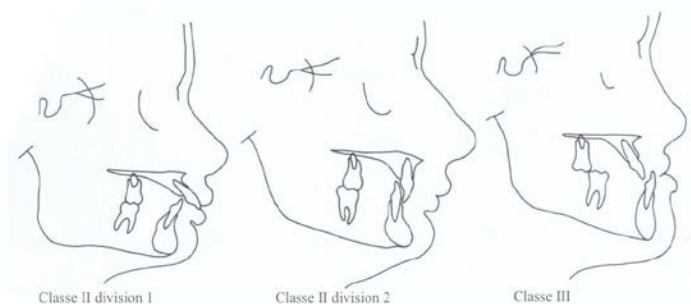
patron hypodivergent se caractérisera plutôt un angle fermé, signe d'une croissance davantage horizontale. Une croissance verticale exagérée se traduira par un « long-face syndrome », avec un tiers inférieur du visage allongé (15). À l'opposé, une croissance insuffisante se décrira par un « short-face syndrome », où le tiers inférieur du visage sera réduit (16).

Une croissance verticale exagérée peut mener à une béance antérieure, une incompetence labiale et à un sourire gingival. Ce type de croissance peut être autant associé à la malocclusion de classe I, II ou III. (Figure 11) De façon opposée, la croissance horizontale exagérée sera fréquemment associée à un surplomb vertical fermé (« deep-bite ») et un repli labio-mentonnier prononcé. De la même façon, ce patron de croissance peut être associé à toutes les malocclusions (9). (Figure 12)



**Figure 11** Patron de croissance verticale et malocclusion associée

*Images adaptées de Textbook of Orthodontics par Bishara, 2011*



**Figure 12** Patron de croissance horizontale et malocclusion associée

*Images adaptées de Textbook of Orthodontics par Bishara, 2011*

### **2.1.3. Prévalence des malocclusions**

#### **2.1.3.1. Prévalence**

Plusieurs études ont été menées au fil des années dans différentes régions du globe afin de connaître la prévalence des différentes malocclusions. La plus connue est sans doute celle provenant du troisième *National Health and Nutrition Estimates Survey* (NHANES III) effectuée aux États-Unis entre 1989 et 1994 (1,6). Cette étude a été entreprise sur 14 000 américains, souhaitant représenter proportionnellement la population de 150 millions d'habitants. L'occlusion dentaire a été évaluée par l'alignement des incisives, le surplomb vertical et horizontal, la présence de diastèmes et la présence d'occlusion croisée. Les groupes étudiés étaient les enfants de 8 à 11 ans, les adolescents de 12 à 17 ans et les adultes de 18 ans et plus.

Le surplomb horizontal a servi à l'évaluation de la classe d'occlusion d'Angle. Trente pour cent de la population aurait une occlusion normale, alors que de 50 à 55% de la population totale aurait une malocclusion de classe I. Quinze pour cent serait en classe II et moins de 1% en classe III.

Seulement 4% de la population possède une malocclusion sévère et uniquement 2% nécessite un traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique.

#### **2.1.3.2. Sexe**

Les malocclusions affecteraient également les deux sexes, sans différence statistiquement significative entre eux et aussi bien chez la population jeune que chez les adultes (17–22).

#### **2.1.3.3. Ethnie**

Les différentes malocclusions affectent inégalement les divers groupes ethniques. Les malocclusions de classe II seraient plus fréquentes chez les caucasiens et les hispaniques, alors que la classe III affecterait davantage la population asiatique et afro-américaine (1,17,23). Par contre, une prépondérance plus élevée de classe II sévère (7 mm ou plus de surplomb horizontal) se retrouverait chez les afro-américains (24). Les surplombs verticaux exagérés se rencontrent

davantage chez les caucasiens, alors que les béances antérieures affectent plus souvent les afro-américains. Bien que davantage de problèmes antéro-postérieurs soient notés chez les hispaniques, ceux-ci sont moins sujets aux problèmes verticaux (1).

#### **2.1.4. Planification du traitement**

Les limitations d'un traitement orthodontiques sont grandement affectées par la sévérité de la malocclusion, la présence ou non d'une disharmonie squelettique et le patron de croissance du patient (25).

En présence d'une malocclusion squelettique, trois choix de traitements s'offrent à l'orthodontiste (24,26) :

- 1) *Modification de croissance chez le jeune patient ;*
- 2) *Camouflage orthodontique ;*
- 3) *Traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique.*

Le dernier point étant celui nous intéressant dans le présent projet et étant abordé dans la prochaine section, les deux autres options de traitement ne seront que rapidement survolées.

##### **2.1.4.1. Modification de croissance**

La modification de croissance vise à corriger une disharmonie squelettique chez un enfant en croissance, afin de favoriser ou diminuer la croissance d'une des deux mâchoires et ainsi corriger le problème squelettique (1,24). Deux points sont primordiaux dans cette thérapeutique : la coopération du patient et le « timing » idéal pour débiter le traitement. Les parents doivent également être conscients que la réponse à ce type de traitement est très variable et n'est pas gage de succès.

Le temps idéal pour débiter un traitement d'orthopédie dento-faciale varie en fonction du plan de l'espace nécessitant la correction. Une modification de croissance transverse devrait être entreprise avant le début de l'adolescence, bien que certains auteurs aient obtenus des résultats favorables, mais moindres, une fois le pic de croissance dépassé (27). La modification

de croissance sur le plan antéro-postérieur peut être effectuée jusqu'à une période variant entre la moitié et la fin de l'adolescence. La croissance verticale est la dernière à se terminer et est difficile à contrôler (1).

#### 2.1.4.2. Camouflage orthodontique

Le camouflage orthodontique consiste à placer les dents de façon à compenser la disharmonie squelettique. Ce sont les tissus mous qui dictent la limite de compensation possible, en fonction de (25) :

- a) *La pression exercée par les lèvres, les joues et la langue sur les dents ;*
- b) *La condition parodontale ;*
- c) *L'articulation temporo-mandibulaire et les influences neuro-musculaires ;*
- d) *L'esthétique faciale ;*
- e) *La relation entre les lèvres et les dents, ainsi que le montant d'incisive visible. (6)*

Le camouflage est préféré lorsqu'une disharmonie squelettique modérée est présente, sans potentiel de croissance future. Les dents sont alors positionnées de façon à obtenir une occlusion idéale et il est fréquemment nécessaire de procéder à des extractions dentaires pour y arriver. Un tel traitement ne doit pas se faire au détriment de l'esthétique faciale et de la stabilité future (24).

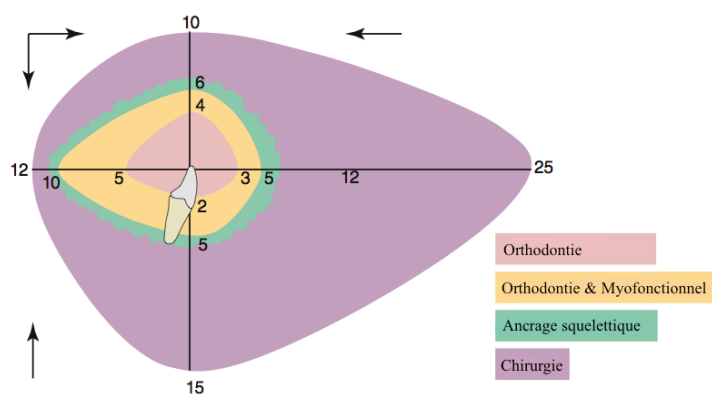
Différents critères sont à considérer pour décider si le choix d'un traitement de camouflage peut être adéquat. Ces caractéristiques sont résumées dans le Tableau 2 (1).

**Tableau 2** Camouflage dentaire d'une malocclusion squelettique

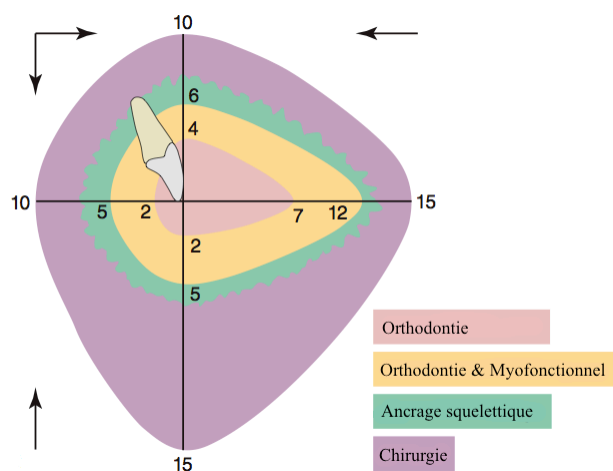
Indicateurs de résultats acceptables	Indicateurs de résultats peu satisfaisants
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normofacial ou brachyfacial</li> <li>• Disharmonie squelettique antéro-postérieure légère</li> <li>• Chevauchement &lt; 4-6 mm</li> <li>• Tissus mous normaux</li> <li>• Sans problème transverse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dolicofacial</li> <li>• Disharmonie squelettique antéro-postérieure modérée à sévère</li> <li>• Chevauchement &gt; 4-6 mm</li> <li>• Tissus mous anormaux</li> <li>• Problème squelettique transverse</li> </ul>

### 2.1.4.3. Enveloppe de mouvements

L'enveloppe de mouvements, introduite initialement par Proffit et Ackerman en 1982, cherche à illustrer quels mouvements sont possibles à l'intérieur des limites biologiques (24). (Figures 13 et 14) La portion interne du diagramme représente les limitations d'un traitement de camouflage exécuté à l'aide d'orthodontie uniquement. La prochaine enveloppe témoigne de l'avancée technologique des ancrages squelettiques et les mouvements qu'ils permettent. L'enveloppe suivante représente les limites du traitement orthopédique par modification de la croissance. La dernière enveloppe fait foi des mouvements possibles grâce au traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique.



**Figure 13** Enveloppe de mouvements à la mandibule



**Figure 14** Enveloppe de mouvements au maxillaire

*Images adaptées de Orthodontics : Current Principles and Techniques par Graber, 2012*

## **2.2. Chirurgie orthognatique**

### **2.2.1. Introduction**

La chirurgie orthognatique correspond au traitement de choix lorsque la croissance du patient est terminée et que la malocclusion et/ou la disharmonie squelettique faciale est trop sévère pour être traitée uniquement par orthodontie. Il n'existe malheureusement pas de règle d'or permettant de déterminer hors de tout doute quel cas se prête davantage à la correction par chirurgie orthognatique versus le camouflage. L'enveloppe des mouvements peut nous guider dans le choix de traitement, mais bien souvent cette décision est basée sur le jugement du clinicien et sur les objectifs de traitement (26). Dans un traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique, on souhaite non seulement corriger la malocclusion, mais aussi améliorer l'esthétique facial. Selon le NHANES III, alors que 20% de la population américaine souffre de malocclusion, seulement 2% nécessite un traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique (28).

La chirurgie orthognatique visant à obtenir une occlusion idéale, il convient de vouloir placer les dents idéalement sur les bases osseuses en vue de la chirurgie. Donc, en présence d'une compensation dentaire de la malocclusion squelettique, il devient nécessaire de déplacer les dents de façon à ce que l'occlusion soit empirée par rapport à la position initiale. Dans la langue de Shakespeare, on appelle cette procédure « reverse orthodontics » (24). Les mouvements chirurgicaux seraient minimes sans cette décompensation dentaire.

### **2.2.2. Historique**

La première ébauche de chirurgie liée aux maxillaires arriva aussi tôt qu'en 1864, alors que Cheever rapporta une technique d'ostéotomie de LeFort I afin de faire la résection d'une masse nasopharyngienne (29). Ce qui s'avéra plus tard comme le début de la chirurgie orthognatique revient à Hüllihen, en 1849, avec la première tentative de correction chirurgicale d'une disharmonie squelettique faciale (30). En effet, il a introduit l'ostéotomie mandibulaire subapicale. Par contre, le premier cas de traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie fut rapporté dans la littérature par Whipple en 1898, grâce à son travail conjoint avec Angle et Blair.

Cette étape importante de la chirurgie orthognatique est surnommée « The St. Louis Operation ». Blair contribua grandement à l'avancée de la chirurgie orthognatique en publiant un article à ce sujet en 1907, puis un premier livre en 1912. Il fut le premier à insister sur l'importance de la relation orthodontiste-chirurgien, tel que décrit dans son article de 1907, intitulé « Operations of the Jaw-Bone and Face » :

*« Treating of skeletal deformities is really surgical work, but the earlier a competent, congenial orthodontist is associated with the case, the better it will be for both the surgeon and the patient. » (30)*

En Europe, Berger rapporta en 1897 une technique d'ostéotomie condylienne pour corriger le prognathisme mandibulaire. Babcock (1909), Bruhn et Lidemann (1921) et Kostecka (1931) rapportèrent tous des procédures similaires à celle de Blair.

La première chirurgie orthognatique d'ostéotomie maxillaire revient, quant à elle, à l'allemand Wassmund en 1921. C'est également celui qui a décrit le premier l'ostéotomie maxillaire antérieure, en 1935. Son élève, Schuchhardt, développa l'ostéotomie maxillaire postérieure, de même que l'ostéotomie mandibulaire sagittale oblique (1955). Trauner, en Autriche, développa également de nombreuses techniques chirurgicales. Ses protégés, Köle et Obwegeser sont deux grands contributeurs à la chirurgie orthognatique actuelle, en popularisant l'approche intra-orale. En Amérique, les techniques de correction des malformations mandibulaires évoluèrent grâce à des chirurgiens tels que Caldwell, Letterman, Robinson, Hinds et Thoma (29,30).

La chirurgie bimaxillaire ne fit son apparition qu'en 1959 grâce aux travaux de Köle et fut mal accueillie par la communauté scientifique. Obwegeser popularisa la technique en publiant sa méthode d'ostéotomie combinée du maxillaire et de la mandibule en 1970 (30).

Les techniques chirurgicales ont donc rapidement évoluées et il devint courant, dans les années 80, de repositionner chirurgicalement une ou deux mâchoires, de déplacer le menton dans les trois plans de l'espace et de repositionner les segments dentoalvéolaires (1).

Le dernier tournant important de l'histoire de la chirurgie orthognatique se fit grâce à l'introduction de la fixation rigide dans les années 90, permettant l'obtention de résultats

beaucoup plus stables et prévisibles. Cette technique était originellement dédiée à la traumatologie. Soerensen l'utilisa pour la première fois dans la région faciale en 1917, mais ce n'est que 70 ans plus tard que la technique fut réintroduite en chirurgie maxillo-faciale par Spiessl (30).

Finalement, les procédures et les techniques chirurgicales ayant tellement évolué dans les dernières années, les objectifs chirurgicaux sont aujourd'hui atteints plus rapidement et sont moins traumatiques pour le patient (31).

La planification chirurgicale en trois dimensions (3D) constitue une des grandes avancées technologiques des dernières années. Après avoir réalisé une imagerie par « cone beam computed tomography » (CBCT) avec coupes de 1 mm et avoir réalisé une empreinte (digitale ou conventionnelle) de l'occlusion du patient, il devient possible de planifier en trois dimensions la chirurgie. À ce jour, l'image réalisée par CBCT n'est toutefois pas suffisamment précise au niveau occlusal des dents pour discontinuer la prise d'empreintes intra-orales. Il demeure donc essentiel d'obtenir un modèle de plâtre des dents du patient. L'utilisation de la technique de planification 3D est particulièrement intéressante dans les cas de chirurgie bimaxillaire, puisque la planification associée à cette chirurgie est ardue et longue. (32) La planification en 3D des chirurgies orthognatiques constitue une avancée fort intéressante, diminuant le temps requis en préparation, augmentant la précision de la chirurgie et facilitant sa réalisation. (33)

### **2.2.3. Options chirurgicales**

#### **2.2.3.1. Choix du type de chirurgie**

Différentes options chirurgicales sont disponibles pour répondre aux différentes disharmonies squelettiques (12,31). (Tableau 3)



**Tableau 3** Disharmonies squelettiques et types de chirurgie associés

Types de disharmonie	Classification	Options chirurgicales
<b>Déficit antéro-postérieur mandibulaire</b>	Classe II div 1 sans problème vertical	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ostéotomie sagittale d'avancement ± Génioplastie d'avancement</li> <li>• LeFort I d'avancement maxillaire si rétrusion maxillaire conjointe</li> </ul>
	Classe II div 1 avec excès vertical	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ostéotomie sagittale d'avancement ± Génioplastie d'avancement</li> <li>• LeFort I d'impaction maxillaire</li> <li>• Le complexe maxillo-mandibulaire subit une rotation</li> </ul>
	Classe II div 2 sans problème vertical	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ostéotomie sagittale d'avancement ± Génioplastie de réduction ou de descente</li> </ul>
	Classe II div 2 avec manque vertical	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ostéotomie sagittale d'avancement avec rotation vers le bas et l'avant de la mandibule</li> <li>• ± Génioplastie de réduction ou de descente</li> </ul>
<b>Excès antéro-postérieur mandibulaire</b>	Classe III	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ostéotomie sagittale de recul * ± Génioplastie</li> <li>• Combinaison de LeFort I d'avancement maxillaire et d'ostéotomie mandibulaire d'accommodation</li> </ul>
<b>Déficit antéro-postérieur maxillaire</b>	Classe III	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LeFort I d'avancement maxillaire ± Ostéotomie mandibulaire d'accommodation</li> </ul>
<b>Excès antéro-postérieur maxillaire</b>	Classe II	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combinaison de LeFort I et d'ostéotomie d'avancement mandibulaire</li> </ul>
<b>Déficit vertical du maxillaire</b>	Classe III	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LeFort I d'avancement et de descente maxillaire ± Ostéotomie mandibulaire d'accommodation</li> </ul>
<b>Excès vertical du maxillaire</b>	Classe II ou Classe III	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combinaison de LeFort I d'impaction maxillaire et d'ostéotomie mandibulaire d'accommodation ± Génioplastie</li> </ul>
<b>Manque transverse</b>	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EPRAC</li> <li>• LeFort segmenté</li> </ul>

\* L'ostéotomie sagittale de recul doit être utilisée avec précaution, puisqu'elle diminue l'espace disponible pour la langue, exposant le patient à un risque augmenté de récurrence et d'apnée du sommeil. Ceci limite son utilisation, favorisant l'utilisation de la chirurgie combinée bimaxillaire (12).

### 2.2.3.2. Motivations des patients envers le choix chirurgical

La plainte principale du patient est un incontournable de l'examen orthodontique initial. Il est important de saisir les motivations du patient envers le traitement orthodontique, de façon à pouvoir cibler le traitement idéal. Dans le cas de patients requérant un traitement combiné d'ortho-chirurgie, plusieurs raisons peuvent pousser le patient à choisir l'option chirurgicale. Ces raisons tangent majoritairement entre :

- 1) *Amélioration de l'esthétique dentaire ;*
- 2) *Amélioration de la fonction masticatrice ;*
- 3) *Amélioration de l'esthétique faciale ;*
- 4) *Amélioration de problèmes d'articulation temporo-mandibulaire (ATM) ou de problèmes musculaires ;*
- 5) *Amélioration de la dentition dans l'optique d'éviter les problèmes futurs. (26)*

Diverses études ont été menées au fil des années afin de répertorier les motivations de traitements des patients chirurgicaux et sont résumées au Tableau 4. L'amélioration de la fonction masticatrice et de l'esthétique constitue les deux raisons majoritairement citées.

**Tableau 4** Motivations des patients envers la chirurgie orthognatique

Auteurs	Année	Motivations répertoriées
<b>Trovik et al. (34)</b>	2012	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fonction masticatrice (56%)</li><li>• Esthétique (36%)</li></ul>
<b>Oland et al. (35)</b>	2011	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fonction masticatrice</li><li>• Esthétique</li><li>• Estime de soi</li><li>• Prévention de problèmes futurs</li></ul>
<b>Espeland et al. (36)</b>	2008	<ul style="list-style-type: none"><li>• Esthétique dentaire (83%)</li><li>• Fonction masticatrice (81%)</li></ul>
<b>Williams et al. (37)</b>	2005	<ul style="list-style-type: none"><li>• Esthétique dentaire (80%)</li><li>• Prévention de problèmes futurs (69%)</li><li>• Estime de soi (68%)</li></ul>
<b>Rivera et al. (38)</b>	2000	<ul style="list-style-type: none"><li>• Esthétique (71%)</li><li>• Fonction masticatrice (47%)</li><li>• Problèmes d'ATM (28%)</li><li>• Prévention de problèmes futurs (18%)</li></ul>

<b>Nurminen et al. (39)</b>	1999	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonction masticatrice (68%)</li> <li>• Esthétique faciale (36%)</li> <li>• Problèmes d'ATM (32%)</li> <li>• Maux de tête (32%)</li> </ul>
<b>Philips et al. (40)</b>	1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Image de soi (&gt;50%)</li> <li>• Fonction masticatrice (&gt;50%)</li> </ul>
<b>Flanary et al. (41)</b>	1985	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonction masticatrice (76,7%)</li> <li>• Esthétique (47,8%)</li> </ul>

### 2.2.3.3. Changements au niveau des tissus mous associés à la chirurgie orthognatique

La correction chirurgicale des disharmonies squelettiques aura bien entendu des effets notables au niveau de l'esthétique du visage, ce qui est généralement souhaitable. L'amélioration de l'esthétique faciale constitue en fait une des principales plaintes des patients lors des consultations orthognatiques, et ce majoritairement chez la femme (37,39,41).

À la suite d'une chirurgie orthognatique, les changements survenant au niveau des tissus mous du visage dépendent en fait de plusieurs facteurs : la procédure chirurgicale, la technique de sutures utilisée, la nouvelle position spatiale squelettique et dentaire, les qualités d'adaptation des tissus, les vecteurs de forces appliqués sur les dents, l'épaisseur, la compétence et le tonus labial, l'espace inter-labial au repos, la quantité de surplomb vertical, la quantité de tissu adipeux et musculaire et l'œdème post-opératoire (42).

La majorité des auteurs s'entendent pour dire que les tissus se seront stabilisés après une période de 6 mois (42,43). D'autres parlent davantage de 12 mois (44).

Les changements de tissus mous sont nombreux et variés, selon le type de chirurgie. L'objectif principal de cette revue n'étant pas d'en fournir une description détaillée, seuls les effets majeurs seront énumérés au Tableau 5 (31).

Dans les cas des chirurgies bimaxillaires, les changements observés au niveau des tissus mous seraient similaires à ceux retrouvés dans chaque chirurgie, à l'exception de variations dans l'angle naso-labial et le mouvement vertical de la lèvre inférieure et du menton (45).

**Tableau 5** Variations au niveau des tissus mous à la suite d'une chirurgie orthognatique

Mouvement chirurgical	Changements en vue frontale	Changements en vue sagittale
<b>Avancement mandibulaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauteur faciale inférieure (HFI) augmentée</li> <li>• Lèvre inférieure moins ourlée</li> <li>• Repli labio-mentonnier moins aigu</li> <li>• Meilleure définition de l'angle cou-menton</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proéminence du menton</li> <li>• Vermillon moins apparent</li> <li>• Lèvre inférieure plus volumineuse</li> <li>• Angle cou-menton moins obtus</li> <li>• Repli labio-mentonnier moins aigu</li> </ul>
<b>Recul mandibulaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menton moins proéminent</li> <li>• Vermillon supérieur plus proéminent</li> <li>• HFI diminuée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menton moins proéminent</li> <li>• Vermillon moins apparent</li> <li>• Longueur cou-menton diminuée</li> <li>• Double menton</li> <li>• Angle cou-menton plus obtus</li> </ul>
<b>Avancement maxillaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Base alaire plus large*</li> <li>• Lèvre supérieure plus volumineuse</li> <li>• Vermillon supérieur plus apparent</li> <li>• Région paranasale comblée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Région paranasale comblée</li> <li>• Nez retroussé*</li> <li>• Lèvre supérieure plus volumineuse</li> <li>• Diminution relative de la proéminence du nez et du menton</li> </ul>
<b>Impaction maxillaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montant d'incisive visible diminué</li> <li>• Vermillon supérieur moins apparent</li> <li>• Espace inter-labial diminué</li> <li>• Lèvre supérieure plus courte*</li> <li>• HFI diminuée</li> <li>• Sourire gingival diminué</li> <li>• Base alaire plus large*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nez retroussé*</li> <li>• HFI diminuée</li> <li>• Espace inter-labial diminué</li> <li>• Augmentation de la proéminence mandibulaire par auto-rotation</li> <li>• Région paranasale comblée</li> </ul>
<b>Descente maxillaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HFI augmentée</li> <li>• Lèvre supérieure allongée</li> <li>• Vermillon supérieur plus apparent</li> <li>• Montant d'incisive visible augmenté</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lèvre supérieure plus proéminente</li> <li>• Angle naso-labial moins obtus</li> <li>• Diminution de la proéminence mandibulaire par auto-rotation</li> </ul>

\* Ces changements peuvent être contrôlés lors de la chirurgie par les procédures appropriées.

## 2.2.4. Techniques chirurgicales mandibulaires

### 2.2.4.1. Ostéotomie sagittale bilatérale

L'ostéotomie sagittale du ramus mandibulaire a été développée et popularisée par Obwegeser et Trauner en 1957 (1). La technique fut ensuite modifiée par Dal Pont, puis raffinée par Hunsuck en 1968 et Epker en 1977 (31). Elle demeure aujourd'hui la procédure la plus

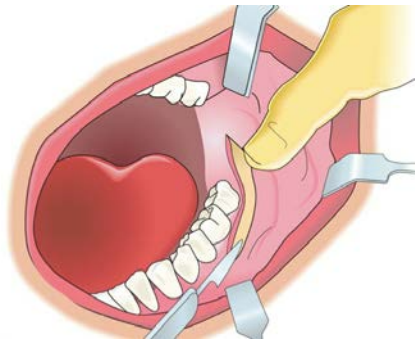
couramment utilisée à la mandibule (1,31,46–48). Malgré l'évolution de la technique, ses principes de bases et ses avantages demeurent les mêmes :

- 1) *Bonne flexibilité de repositionnement du segment osseux dento-alvéolaire ;*
- 2) *Recouvrement osseux large des deux segments lors du repositionnement de la mandibule permettant une guérison facilitée ;*
- 3) *Faible impact sur les positions des muscles et de l'articulation temporo-mandibulaire ; (29)*
- 4) *Permet de contrôler adéquatement la position condylienne ;*
- 5) *Ne nécessite pas de fixation intermaxillaire. (49)*

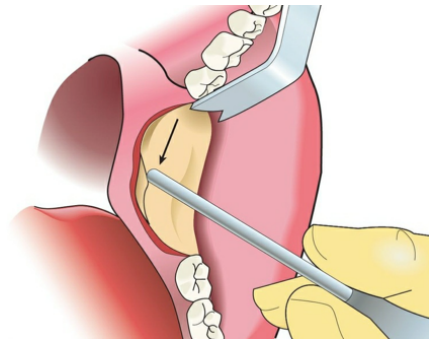
La nécessité d'extractions des troisièmes molaires mandibulaires en vue de la chirurgie orthognatique est assez controversée au niveau de la littérature. Leur présence durant la chirurgie d'ostéotomie engendrerait un risque augmenté de segmentation défavorable et de fracture du segment distal ou mésial, en plus d'influencer la position des plaques et vis selon certains auteurs (29,50–52). Ceci serait particulièrement vrai chez les moins de 20 ans (50). Selon Reyneke (31), leur présence affaiblirait la région rétro-molaire du segment distal, augmenterait le risque d'atteinte du nerf et de perte de sensation et augmenterait le risque d'infection post-opératoire. Pour ces raisons, il suggère l'ablation prophylactique 9 mois avant la chirurgie, alors qu'une autre étude suggère plutôt 12 mois (49). Proffit parle quant à lui de 6 mois (1). Selon une étude récente, leur présence augmenterait le risque de fracture indésirable, sans augmenter le risque d'autres complications (53). Par contre, il est aussi rapporté par d'autres auteurs que leur présence n'influencerait pas l'incidence des fractures (54,55).

L'ostéotomie sagittale se fait par approche intra-orale, avec incision et dissection des tissus mous dans la partie antérieure du ramus, au niveau de la crête oblique externe et du vestibule buccal, jusqu'au distal de la deuxième molaire inférieure (29,31). (Figure 15) Il est nécessaire d'exposer le buccal et le lingual du ramus, de la crête oblique interne jusqu'au mésial de la région rétromolaire, en prenant soin de bien disséquer le périoste. (Figure 16) Il est ensuite essentiel de bien visualiser l'épine de Spix, car c'est un important repère pour l'ostéotomie. Celle-ci se fera parallèlement au plan occlusal et se terminera légèrement distale à l'épine.

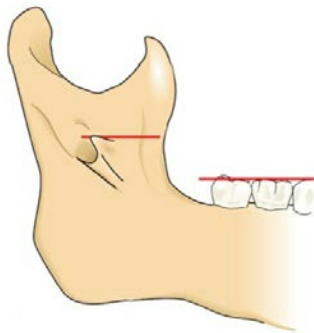
(Figure 17) L'ostéotomie doit traverser la corticale sur une profondeur d'environ 5 mm, afin d'atteindre la moelle osseuse. Si l'ostéotomie se termine mésialement à l'épine, la mandibule risque de se séparer antérieurement, faisant en sorte que le nerf alvéolaire inférieur reste attaché à la partie proximale de la mandibule. La prochaine étape est la portion verticale de l'ostéotomie. Celle-ci débute au mésial du précédent trait et se poursuit verticalement jusqu'au mésial de la deuxième molaire inférieure. (Figure 18) Le trait de coupe est ensuite continué, en partant du bord inférieur du cortex et remontant supérieurement pour joindre le trait précédent au mésial de la molaire. (Figure 19) Les mêmes étapes sont ensuite reproduites du côté controlatéral, avant de passer à la prochaine étape qui consiste à séparer la mandibule. Pour ce faire, des ostéotomes sont utilisés. (Figure 20) La mandibule doit être supportée en tout temps durant cette procédure, afin d'éviter de traumatiser l'articulation temporo-mandibulaire (ATM). Après avoir séparé le ptérygoïdien interne et le ligament stylo-mandibulaire des segments proximaux et distaux, la mandibule est mobilisée et ensuite repositionnée selon le plan chirurgical, puis fixée au maxillaire. Il est important que le condyle, contenu dans le segment proximal, soit correctement replacé dans la fosse glénoïde avant de finaliser la fixation intermaxillaire. Les segments proximal et distal sont ensuite immobilisés ensemble par fixation rigide. (Figure 21) La fixation intermaxillaire peut être retirée à ce stade, afin de vérifier l'occlusion obtenue, puis les sutures sont faites. Des élastiques intermaxillaires de 4 onces / 0,25 pouce sont placés pour guider le positionnement mandibulaire. Des élastiques positionnés en classe II sont utilisés dans un cas d'avancement mandibulaire, alors que des élastiques en classe III sont utilisés lors d'un recul (29,31).



**Figure 15** Ostéotomie sagittale – Incision



**Figure 16** Ostéotomie sagittale – Dissection



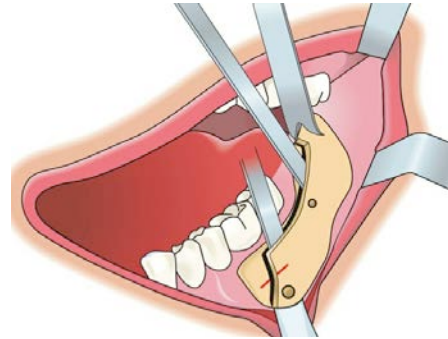
**Figure 17** Ostéotomie sagittale – Épine de Spix



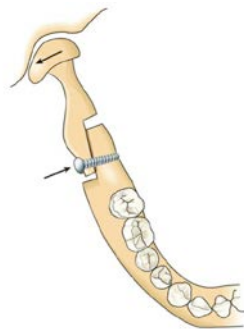
**Figure 18** Ostéotomie sagittale – Trait vertical



**Figure 19** Ostéotomie sagittale – Trait buccal



**Figure 20** Ostéotomie sagittale – Séparation



**Figure 21** Ostéotomie sagittale – Fixation

*Images adaptées de Essentials of orthognathic surgery par Reyneke, 2010*

#### **2.2.4.2. Ostéotomie verticale intra-orale du ramus mandibulaire**

Bien que l'ostéotomie sagittale soit la procédure de choix dans la majorité des cas (47), l'ostéotomie verticale du ramus est parfois utilisée lorsqu'un patient nécessite un grand recul mandibulaire ou la correction d'une asymétrie sévère (31). Cette procédure comporte quelques avantages par rapport à l'ostéotomie sagittale, tels qu'une plus faible morbidité du nerf alvéolaire inférieur, la simplicité de la technique, le temps opératoire réduit et la possibilité de facilement repositionner le condyle. De plus, elle peut être exécutée en chirurgie d'un jour. Elle comporte toutefois plusieurs inconvénients, tels que la nécessité de fixation intermaxillaire, une stabilité réduite et la nécessité de physiothérapie due à la fixation (31,56).

#### **2.2.4.3. Génioplastie**

La génioplastie permet au chirurgien d'adapter la région mentonnière dans les trois dimensions et de s'assurer que cette portion importante du visage conserve un esthétisme approprié (31). C'est Köle qui a popularisé et amélioré la technique en 1968 afin de pouvoir à la fois avancer le menton et en diminuer la hauteur (30). La génioplastie est utilisée chez environ 30% des patients recevant une chirurgie d'ostéotomie mandibulaire ou LeFort maxillaire (1).

### **2.2.5. Techniques chirurgicales maxillaires**

#### **2.2.5.1. Ostéotomie de LeFort I**

Ce type d'ostéotomie du maxillaire doit son nom au célèbre chirurgien René Le Fort (1869-1951) qui décrivit les différentes fractures possibles au maxillaire en 1901. Tel que mentionné précédemment, de nombreux chirurgiens contribuèrent à l'avancée de la technique de LeFort I, tel que Bell, dont les travaux ont permis son évolution et son raffinement, grâce à sa recherche sur l'hémodynamique et l'apport vasculaire du maxillaire (29–31).

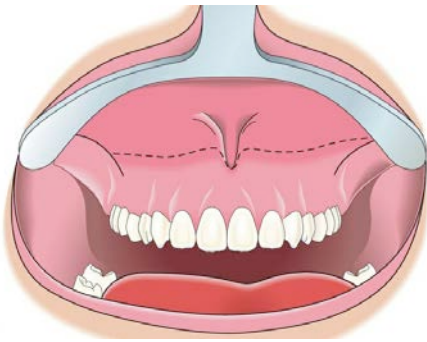
L'ostéotomie de LeFort I débute par une incision horizontale au niveau du vestibule buccal du maxillaire, en prenant soin de laisser un minimum de 5 mm de gencive non-kératinisée du côté alvéolo-dentaire. (Figure 22) Les tissus mous sont ensuite disséqués jusqu'au périoste, exposant l'épine nasale antérieure, la cavité et le plancher nasal. Le trou sous-orbitaire est



identifié et son paquet neuro-vasculaire est protégé. (Figure 23) Il faut prendre soin de ne pas exposer la boule de Bichat lors de la dissection, sans quoi elle pourrait provoquer une hernie au travers du périoste lors de la guérison. Ensuite, des traits de référence sont faits afin de guider l'ostéotomie. (Figure 24) Celle-ci peut être haute (inférieure au trou sous-orbitaire) ou basse (5 mm au-dessus des apex dentaires). Lorsque l'ostéotomie est horizontale, comme dans les cas d'avancement, elle doit être faite parallèle au plan occlusal. L'ostéotomie doit être 3 mm plus basse en postérieur qu'en antérieur, afin de créer une marche d'escalier entre les deux. (Figure 25) Ceci a divers avantages :

- 1) *Permet de garder les ostéotomies parallèles au plan occlusal ;*
- 2) *Permet l'obtention d'une fracture de séparation plus aisée et plus sécuritaire ;*
- 3) *Après avoir avancé le maxillaire, le défaut créé par la marche pourra être facilement greffé. (31)*

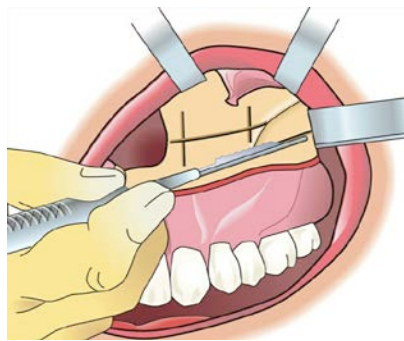
Les deux traits d'ostéotomie sont ensuite connectés, puis la tubérosité doit être séparée des lames ptérygoïdes. Ne pas faire cette séparation risque de compliquer la fracture de segmentation ou d'engendrer des fractures indésirables au niveau de l'os palatin et des dites lames. La muqueuse nasale est ensuite disséquée et l'épine nasale antérieure est enlevée, puis le cartilage nasal et le vomer sont séparés du maxillaire. (Figure 26) Une fois les traits complétés et la muqueuse bien disséquée, le maxillaire est séparé et mobilisé. Si les traits ont été correctement effectués, ceci peut être généralement fait avec les mains en poussant vers le bas. (Figure 27) L'ostéotomie est raffinée et suffisamment d'os est retiré afin de permettre le repositionnement approprié. La position finale du maxillaire est choisie en fonction du plan chirurgicale et la fixation est entreprise à l'aide des plaques et des vis. Ce type de fixation permet l'obtention de résultats optimaux et permettant une fixation adéquate en combinaison avec une bonne flexibilité (29,31). Le septum nasal est repositionné et des sutures sont placées. Il est fréquent de venir suturer la base alaire du nez afin d'éviter son élargissement et la muqueuse est ensuite suturée. Comme à la mandibule, des élastiques intermaxillaires sont utilisés pour supporter le repositionnement.



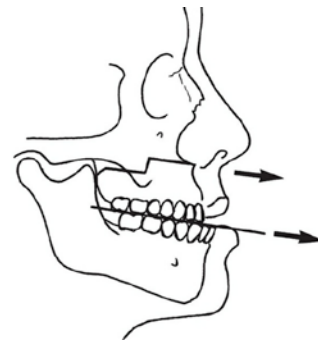
**Figure 22** LeFort I – Incision



**Figure 23** LeFort I – Dissection



**Figure 24** LeFort I – Traits d'ostéotomie



**Figure 25** LeFort I – Ostéotomie en marche d'escalier



**Figure 26** LeFort I – Retrait de l'ENA et dissection du vomer



**Figure 27** LeFort I – Mobilisation

*Images adaptées de Essentials of orthognathic surgery par Reyneke, 2010*

### 2.2.5.2. Ostéotomie de LeFort I multisegmentée

Au besoin, l'ostéotomie de LeFort I peut être multisegmentée afin d'élargir ou de rétrécir le maxillaire, de fermer des espaces interdentaires ou de niveler l'occlusion (31). Les détails de

cette technique ne seront pas abordés, cette chirurgie constituant un critère d'exclusion au présent projet.

### **2.2.5.3. Expansion palatine rapide assistée chirurgicalement (EPRAC)**

L'EPRAC est une technique chirurgicale simple, stable et très efficace pour corriger un manque transverse sévère du maxillaire chez un individu dont la croissance est terminée (9,57). L'EPRAC est souhaitable lorsque le maxillaire a besoin d'être élargi, mais l'ostéotomie segmentée est préférée s'il est nécessaire de déplacer le maxillaire antéro-postérieurement ou verticalement (1). Les dernières études publiées démontrent qu'elle ne serait toutefois pas plus stable que l'ostéotomie de LeFort I segmentée. De la récurrence de l'expansion dentaire est à prévoir avec l'EPRAC (environ 1/3), mais l'expansion squelettique demeure généralement stable (58). L'EPRAC nécessite la mise en place d'un appareil de distraction osseuse, fixé aux dents ou à l'os palatin. Elle ne nécessite pas la mise en place de boîtiers orthodontiques. Les appareils supportés par les dents auraient tendance à causer davantage de bascule dentaire et à compromettre le parodonte, spécifiquement au niveau prémolaire. L'expansion obtenue serait par contre plus symétrique. Selon Landes et al. (59), les appareils supportés par l'os permettraient plus d'expansion squelettique et dentaire, elles créeraient moins de résorption osseuse, mais l'expansion serait plus fréquemment asymétrique.

### **2.2.6. Fixations osseuses**

La méthode traditionnelle de fixation osseuse consistait à utiliser des fils métalliques pour stabiliser les sites d'ostéotomie (29). C'était la seule méthode disponible lors de l'introduction de l'ostéotomie sagittale. En plus d'attacher les segments proximaux et distaux ensemble avec ces fils, il était nécessaire d'utiliser une fixation intermaxillaire pour stabiliser les mâchoires, en plus d'utiliser des fils de suspension intermaxillaires (47).

Chacune des deux techniques comporte des avantages et des désavantages. La fixation rigide constitue une procédure plus complexe, mais elle a l'énorme avantage de ne pas nécessiter de fixation intermaxillaire, tel que mentionné précédemment, en plus de faciliter la réhabilitation du patient (60). Cette technique offre également l'avantage de diminuer le risque de récurrence.

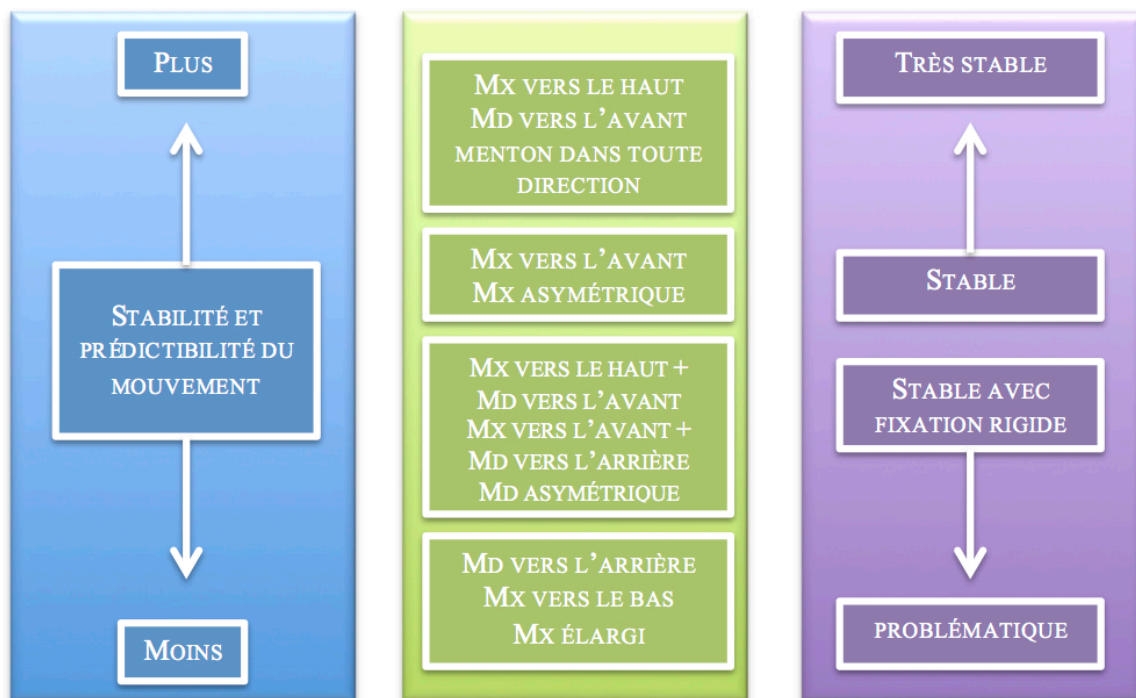
Les études à long-terme sur la fixation rigide rapportent des taux de récurrence variant de 8 à 18%, versus 23 à 45% avec la fixation par fils. Dans une étude comparative des deux méthodes de fixation (47), Keeling et al. ont démontré que les patients ayant reçu une fixation par fils avaient eu une récurrence postérieure à la suite de leur ostéotomie d'avancement mandibulaire 8 semaines post-chirurgie. Le groupe avec fixation rigide ne présentait pas cette caractéristique. Dolce et al. (46) ont également trouvé plus de récurrence dans le groupe de fixation par fils, et selon eux la majorité de la récurrence se produit dans les huit semaines suivant la chirurgie. Ceci concorde avec la majorité des résultats obtenus dans la littérature, à l'exception de ceux de Watzke et al. (61) qui rapportent que bien que le groupe de fixation rigide présentait une stabilité initiale plus grande, le groupe de fixation par fils rattrapa le décalage 6 à 12 mois post-opératoire. Malgré tout, la fixation rigide demeure incontestablement le premier choix de la majorité des chirurgiens de nos jours (60).

## **2.2.7. Stabilité**

### **2.2.7.1. Hiérarchie de stabilité**

La stabilité des mouvements chirurgicaux effectués dépend de divers facteurs, tels que le type de chirurgie effectuée et la direction du mouvement, la technique chirurgicale utilisée, et le type de fixation (1). Afin de faciliter la classification de la stabilité des mouvements chirurgicaux, une hiérarchie de la stabilité a été établie par Proffit et al. (1) en se basant sur les données de 3000 patients. La littérature aillait clairement démontré que bien qu'il soit possible de déplacer la mandibule et le maxillaire dans presque toutes les dimensions, certains mouvements sont plus stables et prévisibles que d'autres. Ainsi, les mouvements sont classifiés sous quatre catégories, *très stable*, *stable*, *stable avec fixation rigide* et *problématique* (Figure 28). Ainsi, selon Bailey et al (62) (Figure 28), les mouvements les plus stables sont l'impaction maxillaire (Mx), la gènioplastie dans toute direction et l'avancement mandibulaire (Md) chez un patient normo ou hypodivergent. Ces procédures ont plus de 90% de chance d'avoir moins de 2 mm de récurrence (1,63). Par contre, une étude plus récente sur l'évaluation de la stabilité à long terme indique que 20% des patients recevant une ostéotomie sagittale mandibulaire auront

une récidive de l'ordre de 2 à 4 mm (64). Les procédures considérées stables ont 80% de chance d'avoir moins de 2 mm de récidive et 20% de chance d'avoir de 2 à 4 mm de récidive. La procédure la moins stable est l'élargissement du maxillaire, comme dans le cas d'un EPRAC, car les tissus palatins se font grandement étirer et ils ont tendance à récidiver dû à leur faible élasticité. Les procédures qui entrent donc dans la catégorie problématique ont de 40 à 50% de chance d'avoir de 2 à 4 mm de récidive et ont une chance significative d'avoir une récidive de plus de 4 mm. Les chirurgies bimaxillaires, quant à elles, nécessitent une fixation rigide afin d'avoir une bonne stabilité.



**Figure 28** Hiérarchie de la stabilité des mouvements chirurgicaux

*Diagramme inspiré de Contemporary orthodontics par Proffit, 2012*

### 2.2.7.2. Facteurs influençant la stabilité

Trois principes majeurs sont à retenir quand il s'agit de la stabilité post-chirurgicale (1)

- 1) *La stabilité est augmentée lorsque le mouvement effectué détend les tissus plutôt que de les étirer.*

- 2) *L'adaptation neuromusculaire est essentielle à la stabilité. Les muscles doivent pouvoir contribuer au mouvement, pas aller à son contre.*
- 3) *L'adaptation neuromusculaire n'affecte que la longueur des muscles. Ceux-ci ne peuvent s'habituer à une nouvelle orientation.*

La récurrence peut survenir au niveau du site d'ostéotomie ou de l'ATM en raison d'un mauvais repositionnement du condyle, de son affaissement, d'une résorption ou d'un remodelage. La littérature rapporte de nombreux autres facteurs pouvant influencer la récurrence, tel qu'un mouvement chirurgical exagéré, un avancement dans le sens antihoraire, une hyperdivergence accrue, l'expérience du chirurgien, la durée de la chirurgie et l'âge du patient, pour n'en citer que quelques-uns (46,47,65).

## **2.2.8. Risques et complications**

Il ne va sans dire que toute chirurgie comporte des risques et des complications et la chirurgie orthognatique n'y fait pas exception. Les possibilités de complications varient en fonction du type de chirurgie utilisée, si elle comprend une ou deux mâchoires, la quantité de mouvement nécessaire et le type de fixation (42). Les différents risques et complications seront répertoriés dans la présente section selon leur type, c'est-à-dire les problèmes neuraux, infectieux, temporo-mandibulaires, vasculaires et les fractures.

### **2.2.8.1. Problèmes neuraux**

La paresthésie du nerf alvéolaire inférieur serait la complication la plus fréquente lors des chirurgies orthognatiques impliquant la mandibule (48,66,67). La littérature recense que de 8 à 32% des patients expérimenteraient une quelconque perte de sensibilité, mais heureusement elle ne serait que temporaire chez la majorité des patients (48,68). L'atteinte du nerf alvéolaire se produirait durant la segmentation de la mandibule dans la majorité des cas (97,6%) et son incidence augmenterait en vieillissant et avec les génioplasties (66,67). Par contre, il est plutôt rare que le nerf lingual ou le nerf facial soit affecté durant les procédures chirurgicales mandibulaires (42).

Au maxillaire, peu de paresthésies demeurent permanentes, la majorité des patients retrouvant la sensation du nez, de la lèvre et des joues de 2 à 8 semaines post-chirurgie. Il est

plus commun d'observer des problèmes de perte de sensation au niveau muqueux ou dentaire (42).

Les insultes aux nerfs peuvent se manifester de trois différentes façons. La première est la neuropraxie et se produit généralement lorsque le nerf est étiré lors de la procédure chirurgicale. La continuité du nerf est préservée et la démyélinisation est partielle. (68) Les symptômes comprennent entre autres une paralysie motrice, de l'engourdissement et des picotements.(69) En général, le pronostic de récupération est bon, avec régénération complète en quelques jours ou semaines. La deuxième insulte est l'axonotmèse et est souvent causée par un écrasement du nerf. La continuité anatomique est généralement préservée, mais les fibres nerveuses sont interrompues. Il y a dégénération wallérienne et l'axone est atteint. Il n'est pas nécessaire de procéder à une approximation chirurgicale et la réparation spontanée se produit à un rythme d'environ 1-2 mm par jour. Le pronostic est assez bon avec ce type. (69,70) La dernière insulte nerveuse est la neurotmèse. Dans ce cas le nerf est totalement sectionné, bien que l'épinèvre peut toujours sembler en continuité. Le nerf se retrouve complètement désorganisé avec perte de fonction complète (sensibilité et motricité) et il est essentiel de le réparer chirurgicalement. Le pronostic est plutôt pauvre et la qualité de la conduction nerveuse demeurera imparfaite. (70)

La présentation clinique de l'atteinte nerveuse varie également. Différents termes existent donc pour décrire le type d'atteinte, tel que défini par l'International Association for the Study of Pain. (69) (Tableau 6)

**Tableau 6** Présentation clinique des atteintes nerveuses

Terme	Description
<b>Allodynie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Douleur ressentie à la suite d'un stimulus normalement non douloureux</li> </ul>
<b>Dysesthésie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensation anormale désagréable, spontanée ou provoquée</li> <li>• Inclus l'allodynie et l'hyperalgésie</li> </ul>
<b>Hyperalgésie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilité augmentée à un stimulus normalement douloureux</li> </ul>
<b>Hyperesthésie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilité augmentée à un stimulus non douloureux</li> </ul>
<b>Hypoesthésie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilité diminuée lors de la stimulation</li> </ul>
<b>Paresthésie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensation anormale non désagréable, spontanée ou provoquée (par exemple au toucher)</li> </ul>

### **2.2.8.2. Problèmes infectieux**

La majorité des patients subissant une chirurgie orthognatique reçoivent des antibiotiques immédiatement avant la chirurgie, puis pour les quelques heures suivantes. Ceci réduit considérablement le nombre d'infections post-chirurgicales. En fait, les infections post-opératoires ne sont pas des complications fréquentes des chirurgies orthognatique, avec un taux aussi bas que 1 ou 2% et avec une fréquence maximum d'environ 10% (6,48,66,68,71,72). Lorsque rapportées, les infections se produisent dans une période variant entre 5 jours post-opératoire jusqu'à un an. Davantage d'antibiotiques sont alors prescrits et dans certains cas, un drainage chirurgical s'impose. Si l'infection persiste et s'aggrave, des problèmes plus graves tels que des angines de Ludwig, des ostéomyélites ou des thromboses du sinus caverneux peuvent survenir (68).

### **2.2.8.3. Désordres temporo-mandibulaires**

Le développement de désordres temporo-mandibulaires (DTM) à la suite de chirurgie orthognatique est assez controversé dans la littérature. En effet, de nombreux articles ont été publiés au fil des années, mais la majorité ne se base pas sur la médecine factuelle.

L'étude rétrospective de 3236 patients de Iannetti et al (48) regroupait initialement 918 patients (28,3%) souffrant de DTM. Ce groupe diminua à 167 patients (18,1%) post-opératoire. Dans le groupe de 2318 patients ne présentant pas de DTM initialement, 259 patients (11,17%) présentèrent un quelconque problème d'ATM post-opératoire. Cette étude concorde avec la majorité de la littérature disponible affirmant que les DTM ont tendance à s'amoinrir avec la chirurgie orthognatique, grâce à l'obtention d'une occlusion adéquate (42,66,68,73).

Par contre, la résorption condylienne affecterait de 5 à 10% des patients subissant une chirurgie orthognatique, avec une prédiction chez les patients recevant un grand avancement mandibulaire (42) et chez les patients hyperdivergents (66). Certaines études ont toutefois rapporté des taux d'incidence plus élevés (1 à 31%), tel que mentionné par Sousa et al. (68).



#### **2.2.8.4. Problèmes vasculaires**

Les hémorragies sont toujours une possibilité avec les chirurgies orthognatiques, bien qu'elles soient rares, et peuvent se produire intra-opératoire ou post-opératoire. Il est toutefois normal d'observer un léger saignement de nez à la suite des ostéotomies de LeFort I (29,67). L'artère maxillaire interne, l'artère alvéolaire supéro-postérieure et l'artère grande palatine sont les plus fréquemment en cause au maxillaire, alors que l'artère faciale, l'artère alvéolaire inférieure et l'artère maxillaire interne sont en cause à la mandibule (42). Les études démontrent que la majorité des hémorragies intra-opératoires sont facilement traitées, et que seulement 12% d'entre elles nécessitent une transfusion sanguine (68). L'avènement de l'anesthésie générale en hypotension, avec l'utilisation de vasoconstricteurs, a grandement diminué le taux d'hémorragie intra-opératoire.

#### **2.2.8.5. Fractures**

Les fractures indésirables, communément appelées « bad split », sont beaucoup plus fréquentes lors d'ostéotomie sagittale mandibulaire qu'au maxillaire (42,67,68,72). L'incidence d'une telle fracture varie de 1,9 à 2,2%, avec un taux légèrement plus élevé en présence des troisièmes molaires inférieures, tel qu'expliqué précédemment.

Au maxillaire, la fracture la plus fréquente est au niveau des lames ptérygoïdes (29,67). Dans de rares cas, ce type de fracture peut causer préjudice à la base crânienne et entraîner des complications vasculaires et ophtalmiques. Une déviation du septum nasal est également possible à la suite d'un LeFort I maxillaire et devrait être réparé sous anesthésie locale dans les premiers jours suivant la chirurgie (29).

Une fracture indésirable peut malheureusement causer d'autres problèmes, tels que la formation de séquestres osseux, une union retardée ou une non-union des segments osseux (67).

#### **2.2.8.6. Autres complications**

##### *Situations communes et prévisibles*

L'œdème et le trismus font partie intégrante de la réhabilitation post-opératoire. L'œdème devrait disparaître au cours des deux à quatre semaines suivant la chirurgie (29,68).

Le trismus influence évidemment la rapidité à laquelle le patient retrouvera ses habiletés masticatrices, sa capacité de mouvement et son confort. En général, avec l'ajout de physiothérapie, la réhabilitation est plus rapide et devrait être complète après 8 semaines. Les exercices peuvent être entrepris 1 ou 2 semaines après la chirurgie, en débutant avec des mouvements délicats (6).

#### *Retrait des plaques et des vis*

Le retrait des méthodes de fixation rigide est un sujet controversé dans le milieu chirurgical. La fréquence de retrait varie de 5 à 25%. Dans la majorité des cas, ceci est fait en raison d'une exposition ou d'un dévissage. Il est assez rare que les plaques doivent être retirées en raison d'une infection (71).

#### *Complications sérieuses*

La chirurgie orthognatique est aujourd'hui considérée comme une procédure sécuritaire grâce aux avancées médicales. Il arrive toutefois que des complications plus sérieuses, mettant la vie du patient en danger, se produisent (72). Dans son étude rétrospective de 2049 patients, Van de Perre a examiné la fréquence de telles complications. Il a répertorié :

- *1 décès, probablement dû à une condition cardiaque préexistante ;*
- *2 trachéotomies d'urgence en raison d'une détresse respiratoire intra-opératoire ;*
- *2 bradycardies ou asystolies sévères ;*
- *3 aspirations résultant en un affaissement pulmonaire ;*
- *3 thromboses veineuses ;*
- *4 intubations prolongées et 4 retraits des fixations intermaxillaires également causés par des détresses respiratoires ;*
- *4 hémorragies post-opératoires ;*
- *22 transfusions sanguines. (72)*

## **2.3. Traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique**

Le traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique nécessite une bonne préparation de la part des membres de l'équipe multidisciplinaire qui assurera le traitement. Le traitement en soi comporte de nombreuses étapes qui mèneront au résultat final.

### **2.3.1. Préparation orthodontique pré-chirurgicale**

#### **2.3.1.1. Choix des appareils orthodontiques**

Les appareils orthodontiques remplissent un rôle important dans le traitement combiné d'ortho-chirurgie. Ils permettent d'accomplir les mouvements nécessaires pré- et post-chirurgicaux et de stabiliser les dents et les mâchoires lors de la chirurgie (1). Le choix des appareils utilisés doit donc tenir compte de cela. Les appareils Edgewise « straight-wire » sont les plus couramment utilisés, dans leur version métallique ou esthétique, avec une lumière de 0,018 ou de 0,022 pouce (29). Les boîtiers de céramique peuvent toutefois représenter un problème durant la chirurgie en raison de leur plus grande fragilité et devraient donc être idéalement utilisés que sur les dents antérieures supérieures. Les appareils linguaux ou les coquilles d'alignement peuvent également être utilisées, mais, selon Proffit, des boîtiers buccaux devraient être utilisés pour la portion chirurgicale du traitement (1).

#### **2.3.1.2. Objectifs pré-chirurgicaux**

L'objectif principal avant la chirurgie est de décompenser et de replacer les dents sur les bases osseuses, dans l'optique d'obtenir une position idéale lors des mouvements chirurgicaux. Il est nécessaire d'aligner les dents et d'obtenir une bonne coordination d'arcades (1). Les mécaniques de classe II ou de classe III devraient être évitées, à moins qu'elles soient nécessaires pour décompenser la dentition. Il faut également éviter de faire de la surexpansion sur fil (42). En général, l'extrusion pour niveler l'arcade peut être faite post-chirurgicalement, mais l'intrusion devrait être effectuée avant la chirurgie. Les deuxièmes molaires permanentes devraient être incluses dans le traitement (1,6). En présence d'une courbe de Spee exagérée, le clinicien doit évaluer s'il est préférable de niveler par intrusion des antérieures inférieures ou

par extrusion des prémolaires. Cette décision doit être prise en prenant en considération la hauteur faciale finale désirée. Dans quelques cas, le clinicien pourra réserver le nivelage de la Spee pour la période d'orthodontie post-chirurgicale. C'est le cas pour les patients brachyfaciaux avec un surplomb vertical augmenté. Au maxillaire, il est indiqué de niveler l'arcade chirurgicalement si l'alignement est vraiment inadéquat.

La position des incisives s'avère très importante dans la planification chirurgicale. L'incisive supérieure guidera la position de la mandibule par rapport au maxillaire. De façon générale, on voudrait une inclinaison incisive supérieure de  $104^\circ$  par rapport au plan SN et inférieure de  $95^\circ$  par rapport au plan mandibulaire.

### **2.3.1.3. Préparation pré-chirurgicale**

Lorsque la préparation pré-chirurgicale est presque terminée, des empreintes du haut et du bas sont prises afin de pouvoir vérifier la compatibilité inter-arche et la nécessité d'ajustements supplémentaires. Lorsque ceci est complété et que le patient est désormais prêt pour la chirurgie, la prise de données pré-chirurgicales est faite. Il convient de prendre des radiographies panoramique et céphalométrique, de même que des modèles d'étude. Advenant la nécessité, une radiographie tridimensionnelle (CBCT) peut être prise pour la planification des mouvements chirurgicaux et la fabrication de la plaque chirurgicale.

Des fils orthodontiques en acier inoxydable rectangulaire de pleine dimension seront ensuite insérés dans les boîtiers afin de maintenir la position dentaire. Pour des boîtiers de 0,018 pouce, on insère habituellement un fil de 0,017x0,025 pouce, alors que pour les boîtiers 0,022 pouce, on insère plutôt un 0,021x0,025 pouce. Ce fil devrait être mis en place de 2 à 3 mois avant la chirurgie pour assurer la stabilité (1,42). Des crochets chirurgicaux doivent être ajoutés au fil si celui-ci ne les contient pas déjà, afin d'assurer la fixation élastique intermaxillaire (1).

### **2.3.2. Finition orthodontique post-chirurgicale**

La finition orthodontique peut être entreprise dès que le patient a retrouvé une fonction suffisante et que le chirurgien est satisfait de la guérison. Habituellement, ceci se produit de 2 à

4 semaines après la chirurgie. À ce moment, la plaque chirurgicale est retirée si elle avait été laissée en place post-chirurgicalement. Le fil orthodontique est changé pour un fil permettant les mouvements, tel que le bêta-titane ou le nickel-titane, afin que l'occlusion puisse correctement s'ajuster. Des élastiques verticaux intermaxillaires peuvent être utilisés à cette fin et devraient être maintenus jusqu'à l'obtention de l'occlusion appropriée. Une fois le traitement orthodontique complété, une méthode de rétention conventionnelle doit être utilisée pour maintenir l'occlusion obtenue. (1,42)

## **2.4. Invisalign®**

### **2.4.1. Historique**

Depuis leur création en 1997 par deux diplômés de l'école de commerce de Stanford, les coquilles d'alignement Invisalign® d'Align Technology (Californie, États-Unis) sont devenues la référence en alignement esthétique. Après avoir reçu des coquilles Essix (Dentsply, États-Unis) pour quelques corrections mineures par leur orthodontiste, Kelsey Wirth et Zia Chishti souhaitèrent développer des gouttières transparentes pour des traitements orthodontiques complets, en remplacement des broches. Grâce à la coopération de Dr. Robert Boyd, Chairman du département d'orthodontie de l'University of Pacific, leur idée prit forme (6). Ayant obtenu l'approbation de la Food and Drug Administration en 1998, les coquilles commencèrent à apparaître sur le marché américain en 1999, puis européen en 2000. (74) Requérant initialement une prise d'empreintes en polyvinylsiloxane pour la fabrication des empreintes, la compagnie a pris un tournant majeur en 2011 en acquérant la compagnie fabriquant les scanners intra-oraux iTero. Align Technology continua à perfectionner son produit dans les années suivantes. Au moment d'écrire ce mémoire, la compagnie avait, depuis 1999, manufacturé plus de 3,4 millions de cas et 211 millions de coquilles. 101 130 dentistes/orthodontistes sont actuellement certifiés pour utiliser la technique et 46 710 utilisent le système (75). La technologie, Invisalign G5®, faciliterait la correction des occlusions fermées, en répartissant mieux les forces sur les dents. Ainsi, il serait plus facile de niveler les courbes de Spee, en contrôlant mieux l'intrusion des antérieures et l'extrusion des prémolaires (76). La toute dernière technologie, Invisalign G6®, vise à faciliter le traitement de malocclusions avec chevauchement antérieur requérant l'extraction de premières prémolaires (77).

### **2.4.2. Description et indications**

Les coquilles Invisalign® sont fabriquées en plastique transparent de moins d'un millimètre d'épaisseur. Elles sont conçues avec la technologie CAD-CAM afin de déplacer les dents individuellement d'environ 0,25 mm par coquille. Pour être efficaces, celles-ci doivent être portées sur une période de 22 heures par jour, c'est-à-dire en tout temps, à l'exception des repas.

Au niveau de la littérature, il n'y a pas vraiment de consensus au niveau des indications du produit Invisalign® (78). En effet, Lagravère et al. (79) réalisèrent une revue systématique de la littérature en 2005 afin de connaître les effets de traitement réalisé avec Invisalign®. Leur conclusion était qu'il manque d'évidence scientifique pour appuyer les indications ou les limitations du traitement avec Invisalign®. Selon le site web d'Invisalign® (80), la grande majorité des malocclusions pourraient être traitées avec cette méthode. Ils y citent les conditions idéales de traitement de chacune d'entre-elles :

- *Espaces* : cas présentant des arcades larges comprenant toutes deux des espaces, arcades en forme de U, présence de labioversion des incisives ;
- *Chevauchement* : arcades étroites avec linguoversion des dents ;
- *Occlusion fermée* : malocclusion de classe I avec linguoversion des dents ;
- *Béance antérieure* : béance dentaire d'origine dentaire, avec linguoversion des postérieures et labioversion des antérieures ;
- *Occlusion croisée* : malocclusion de classe I avec occlusion croisée postérieure, occlusion croisée antérieure n'affectant qu'une ou deux dents, arcade étroite permettant l'expansion ;
- *Déviations de lignes médianes* : malocclusion de classe I avec déviation du haut et du bas en sens opposés, présence d'une disharmonie dento-dentaire ;
- *Arcades étroites* : dents en linguoversion, arcade en forme d'oméga ou de V avec chevauchement ;
- *Classes II* : classe II dentaire de 2 à 4 mm, chez un patient jeune, avec rotation mésiale des molaires ;
- *Classe III* : classe III dentaire de 2 mm, chez un patient jeune ;
- *Extractions* : chevauchement sévère antérieur permettant l'extraction d'une incisive centrale ; l'extraction de prémolaires rend difficile la fermeture d'espace, à moins que celle-ci puisse être faite par bascule.
- *Chirurgies*

Joffe, dans une étude de 2003 (81), suggère d'utiliser Invisalign® pour les malocclusions légères (comportant du chevauchement ou des espaces de 1 à 5 mm), les occlusions fermées, les arcades étroites ne nécessitant pas d'expansion palatine rapide et les cas de retraitement orthodontique. Proffit ajoute à cela l'intrusion de 1 ou 2 dents, les cas d'extraction d'incisive

inférieure et la bascule molaire mésiale (1). La fermeture des espaces d'extraction serait particulièrement difficile à réaliser et beaucoup de bascule mésio-distale se produirait au niveau des prémolaires et des canines (82). Il serait également difficile de gérer les canines ectopiques, l'extrusion des antérieures et les translations molaires (1). Évidemment, la technologie a beaucoup évolué depuis 2003 et la compagnie Align Technology assure que des mouvements beaucoup plus complexes peuvent maintenant être effectués, tel que des rotations jusqu'à 50° et des mouvements de racines de 4 mm (78). De nombreuses études ont vu le jour depuis et l'efficacité des mouvements dentaires avec la technique Invisalign® sera discutée dans la section 2.4.4.

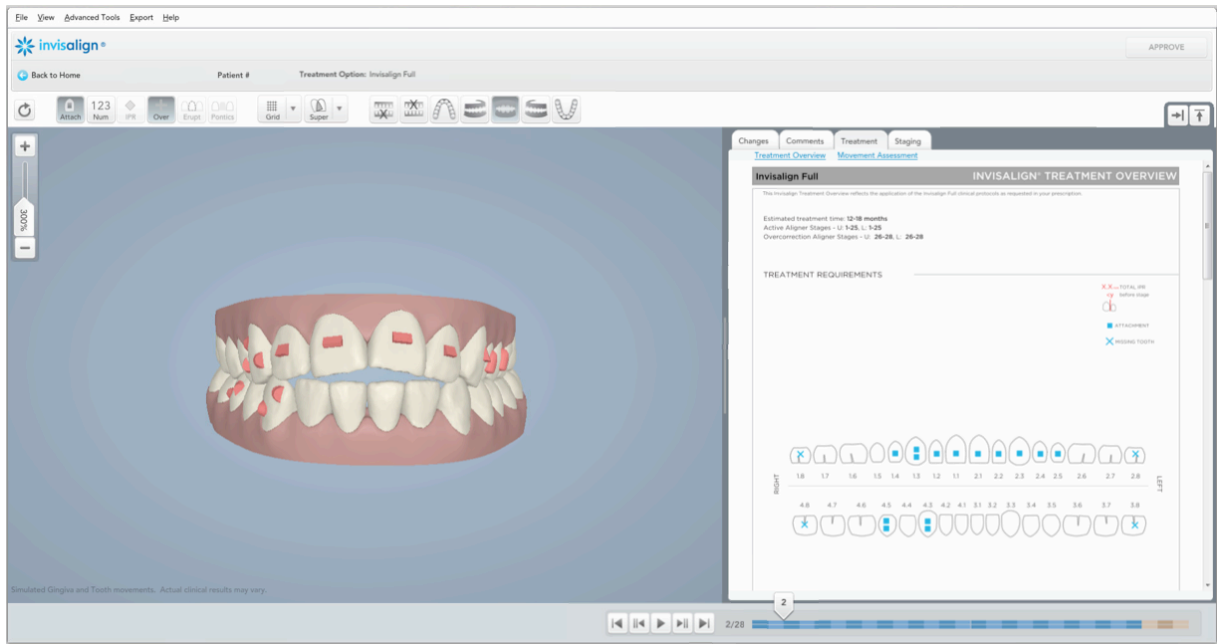
### **2.4.3. Fonctionnement**

Une fois le plan de traitement fait et le système Invisalign® sélectionné pour le patient, la première étape consiste à prendre les empreintes initiales et de les transmettre à la compagnie. Deux options sont offertes au clinicien à cet effet : la prise d'une empreinte en polyvinylsiloxane ou la prise d'une empreinte digitale avec un scanner intra-oral iTero. La méthode digitale permet d'envoyer le cas plus rapidement à la compagnie et de garder uniquement une copie digitale du modèle, diminuant la quantité de modèles de plâtre emmagasinés.

Ensuite, une prescription est remplie sur le site web d'Invisalign®, afin d'indiquer aux techniciens le plan de traitement prévu pour le patient et les empreintes sont envoyées afin que débute la procédure de création du ClinCheck®. Un ClinCheck® est une représentation tridimensionnelle de la prescription fournie par le clinicien qui peut être visualisée par celui-ci et modifiée au besoin. Les techniciens d'Align Technology conçoivent donc virtuellement une série de modèles menant à l'occlusion finale souhaitée (Figure 29).

Le clinicien modifie le ClinCheck® autant de fois qu'il le désire, afin que le plan de traitement corresponde à ses objectifs de traitement. Il doit vérifier que les mouvements effectués de coquille en coquille sont physiologiques, que les relations molaires et canines sont adéquates, que les inclinaisons et les angulations sont correctes, etc. Il est possible de superposer le modèle initial à la prévision finale pour mieux évaluer les mouvements.








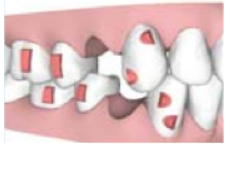





**Figure 29** ClinCheck®

*Image tirée du ClinCheck® d'un patient en traitement à l'Université de Montréal*

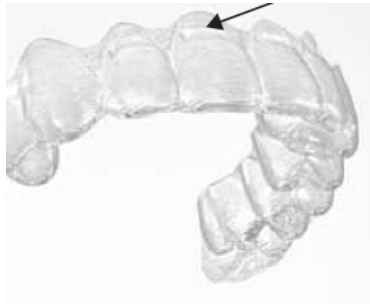
Le nouveau logiciel ClinCheck Pro® (83), disponible depuis février 2014, permet au clinicien de réviser les modèles virtuels et d'au besoin ajuster lui-même la position des dents et d'en modifier le torque, l'extrusion, l'intrusion et l'angulation méso-distale. Il peut incorporer des fentes aux coquilles, nommées « precision cuts », pour l'utilisation d'élastiques inter-arcades et peut modifier ou ajouter des attaches. Les attaches (84) sont de petits boutons en composite qui sont placés par méthode indirecte sur les dents afin d'obtenir certains mouvements. Plusieurs modèles d'attaches existent, chacune d'entre elles répondant à un besoin particulier. Elles sont décrites au Tableau 7. Des petites surélévations de plastique, appelées « power ridges » peuvent également être automatiquement ajoutées aux coquilles lors de la fabrication (Figure 30). Ces « power ridges » permettent d'appliquer une force directement sur une dent, afin de produire par exemple du torque lingual de la racine sur les antérieures. Elles peuvent être ajoutées au buccal et au lingual pour augmenter l'efficacité et peuvent également aider à la rétraction des incisives. Des points de pression peuvent aussi être ajoutés pour créer une force sur une dent et ainsi accomplir un mouvement particulier et mieux le contrôler. (Figure 31)

**Tableau 7** Attaches disponibles avec le système Invisalign®

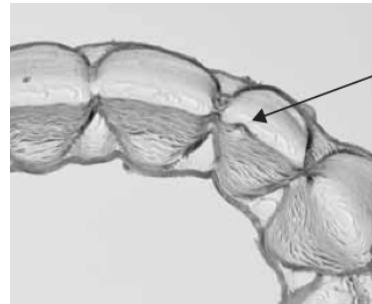
Attaches	Description	Image
<b>Optimisée pour le contrôle des racines</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour le contrôle des racines des antérieures supérieures</li> </ul>	
<b>Optimisée pour le contrôle des racines</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sur les prémolaires ou les canines                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2 attaches buccales</li> <li>○ ou 1 attache et un point de pression</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Optimisée avec multi-plans</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sur les latérales supérieures</li> <li>• Attache optimisée au buccal avec ajout d'un point de pression lingual au besoin</li> </ul>	
<b>Optimisée pour les rotations</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour les rotations des canines et des prémolaires</li> </ul>	
<b>Optimisée pour les extrusions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour l'extrusion de dents individuellement ou d'un groupe de dents</li> </ul>	
<b>Optimisée pour le contrôle des racines</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour la fermeture des espaces d'extraction postérieurement</li> <li>• Attache verticale rectangulaire de 1 mm d'épaisseur sur les 2 dents distales au site d'extraction</li> <li>• Attache optimisée sur la canine</li> </ul>	
<b>Verticale rectangulaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Attaches de 1 mm d'épaisseur placées sur les dents adjacentes au site d'extraction pour la fermeture du site au niveau antérieur</li> </ul>	
<b>Horizontale biseautée à l'occlusal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Attache de 1 mm d'épaisseur</li> <li>• Placée bilatéralement sur la première prémolaire pour permettre l'intrusion antérieure, sans nécessité de rotation des prémolaires</li> </ul>	

<b>Horizontale biseautée à l'occlusal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Attache de 1 mm d'épaisseur</li> <li>• Attache optimisée placée sur les prémolaires nécessitant une rotation</li> </ul>	
---	--	---

*Tableau inspiré du document Attachment Protocol Summary d'Invisalign® , 2013*



**Figure 30** Power Ridge

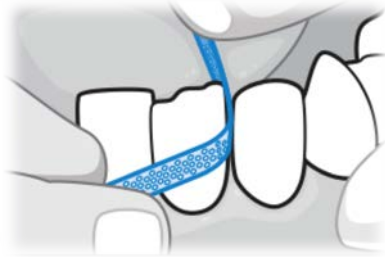


**Figure 31** Point de pression

*Images tirées du document Aligner Objects d'Invisalign®*

Une autre portion importante du ClinCheck® est l'ajout de réduction interproximale (IPR). Si nécessaire, elle sera ajoutée au traitement afin de faciliter le mouvement des dents, lorsque les contacts sont très serrés, lorsque du chevauchement est présent, lorsqu'il existe une disharmonie dento-dentaire (Bolton) ou lorsque des triangles noirs sont présents. Lorsque moins de 0,3 mm de réduction est nécessaire, ceci peut être accompli avec des bandes sablées (Figure 32). Lorsque davantage de réduction doit être faite, des disques sablés sur tour-lent sont utilisés (Figure 33) ou une fraise diamantée sur turbine (Figure 34). Tout au long de la réduction, le montant effectué devrait être vérifié avec les clés de réduction interproximale (Figure 35). Au fil du traitement, il faut également s'assurer que les contacts interdentaires ne sont pas trop serrés et de les alléger au besoin pour permettre le mouvement dentaire et ce, même si de l'IPR n'a pas été prescrit.

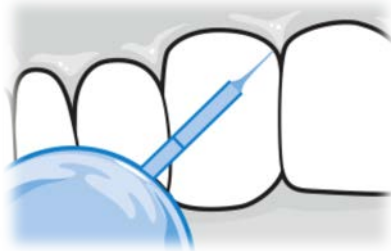
Une fois le ClinCheck® au goût du clinicien, celui-ci l'approuve et la fabrication des coquilles est entreprise par Align Technology. Les coquilles seront livrées au bureau du clinicien dans des boîtes individuelles pour chaque patient.



**Figure 32** IPR avec bande sablée



**Figure 33** IPR avec disque sablé



**Figure 34** IPR avec fraise diamantée



**Figure 35** Vérification de l'IPR

*Images tirées du document Interproximal Reduction (IPR) d'Invisalign®*

Lors de la mise en bouche de chaque coquille, le clinicien doit s'assurer de l'adaptation complète de la coquille et que celle-ci ne blesse pas le patient. Le patient devra normalement changer de coquilles aux 2 semaines pour toute la période de son traitement. Des corrections mi-traitement (« mid-course corrections ») peuvent être demandées au besoin et de nouvelles coquilles peuvent être fabriquées. Cela peut être nécessaire si le patient n'a pas porté ses coquilles correctement, si une ou plusieurs dents n'ont pas suivi les mouvements prescrits, si les coquilles ne font plus ou si le clinicien souhaite modifier le plan de traitement. Ceci est plus ou moins équivalent à un repositionnement de boîtiers en orthodontie fixe (6). Lorsque la première série de coquilles est terminée, le clinicien évalue s'il a obtenu les résultats escomptés. Si nécessaire, il fera ce que le système Invisalign® dénomme « refinement ». Il s'agit d'une nouvelle série de coquilles personnalisées afin de finaliser les mouvements dentaires qui n'ont pas été complètement effectués avec la première série. Align Technology affirme que 20 à 30% des cas nécessiteront un raffinement. Les orthodontistes rapportent plutôt qu'ils en ont besoin d'en environ 70-80% des cas (85).

Une fois le traitement complété, une méthode de rétention doit être utilisée comme avec tout traitement orthodontique. Une forme conventionnelle de rétention peut être choisie ou celle offerte par Invisalign<sup>®</sup> appelée Vivera et qui consiste en un type de reteneur transparent de style Essix.

#### **2.4.4. Efficacité**

La première étude réalisée dans l'optique d'évaluer les résultats de traitement d'Invisalign<sup>®</sup> a été exécutée en 2006 par Djeu et al. (86). Ils ont conclu que le système Invisalign<sup>®</sup> obtenait des résultats inférieurs au traitement conventionnel avec boîtiers. Invisalign<sup>®</sup> réalisa ensuite une étude interne en 2006 avec Nguyen et Chen (87) et rapporta une efficacité moyenne de mouvement des dents de 56%. Kravitz et al (85). voulurent donc, en 2009, réaliser une étude indépendante comparant l'efficacité du mouvement dentaire avec Invisalign<sup>®</sup>. Ils obtinrent une efficacité moyenne de traitement de 41%, ce qui s'avère plus bas que le 56% rapporté par Nguyen et Cheng. Ils ont observé que le mouvement le plus précis était la lingualisation (47,1% de précision moyenne). Les mouvements les moins précis étaient l'extrusion (29,6%) et la bascule mésio-distale (26,9%). La canine mandibulaire était la dent la plus difficile à contrôler en rotation, surtout au-delà de 15°, mais Invisalign<sup>®</sup> constitue tout de même une option valable pour aligner les dents, corriger les rotations et niveler les arcades (88). En effet, selon Pavoni et al., Invisalign<sup>®</sup> serait aussi efficace que les boîtiers auto-ligaturants pour corriger les malocclusions lorsque les racines sont relativement bien alignées prétraitement.

Dans une étude de 2013, Simon et al. (78) démontrent qu'il est effectivement possible de réaliser des mouvements complexes. L'efficacité moyenne du traitement avec Invisalign<sup>®</sup> pour 3 mouvements – la rotation prémolaire, le torque incisif et la distalisation molaire – serait de 59,3%. L'efficacité moyenne de la rotation dans l'étude de Simon et al. serait de 47,3%, alors que celle de la distalisation serait de 87% et celle du torque incisif de 50%. Ils concluent en indiquant qu'il serait bien de considérer des surcorrections lors de la planification du traitement afin de surmonter les corrections plus difficiles. De plus, les rotations et les translations devraient être faites avec l'aide d'attaches sur les dents (89,90).

## 2.4.5. Biomécanique appliquée à Invisalign®

### 2.4.5.1. Concepts de base - Définitions

Le principe de base derrière le mouvement dentaire repose sur l'application de forces prolongées sur les dents entraînant un remodelage osseux et permettant le mouvement.

- *Force (F)* : Charge appliquée sur un objet qui en permettra le mouvement vers une nouvelle position.
- *Centre de résistance (Cres)* : Point en un objet où toute la masse du corps se concentre. L'application d'une force en ce point engendrera une translation. Pour une dent, le centre de résistance se situe environ au 1/3 coronaire de la racine pour une monoradiculée et à la bi- ou trifurcation pour une pluriradiculée.
- *Moment (M)* : Mesure de la tendance d'un objet à faire une rotation. Lorsqu'une force est appliquée hors du centre de résistance d'un objet, un moment sera automatiquement créé.
- *Centre de rotation (Crot)* : Point réel autour duquel un objet exécute sa rotation lorsqu'une force est appliquée hors du centre de résistance.
- *Couple* : Deux forces de magnitude égale agissant en directions opposées.

Deux conditions sont essentielles au contrôle du mouvement d'une dent. Une force doit être appliquée sur la dent afin de la bouger dans la direction voulue, et un moment doit être ajouté afin de contrebalancer le moment créé par force. En orthodontie fixe, c'est le ratio entre le moment et la force appliqués au niveau du boîtier qui permet de contrôler le mouvement dentaire. (Tableau 8) Avec Invisalign®, les forces sont appliquées sur les dents grâce au contact entre celles-ci et la coquille. L'intensité de la force décroît toutefois rapidement, permettant le repos tissulaire et la réorganisation des éléments cellulaires du parodonte. Les forces ne sont appliquées qu'à quelques dents à la fois, les autres dents servant d'ancrage (91).

**Tableau 8** Mouvement dentaire et ratio M/F

Type de mouvement	Description	Schéma
<b>Bascule non-contrôlée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produite par l'application d'une force pure au niveau du boîtier ;</li> <li>• Le Crot est situé près du Cres ;</li> <li>• Le ratio M/F est équivalent à 0.</li> </ul>	
<b>Bascule contrôlée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produite par l'application d'un système de force au niveau du boîtier combiné à un moment, afin de surtout créer un mouvement de la couronne ;</li> <li>• Le Crot est situé près de l'apex de la dent ;</li> <li>• Le ratio M/F est équivalent à 5-7.</li> </ul>	
<b>Translation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produite par l'application d'un système de force au niveau du boîtier combiné à un moment.</li> <li>• Est équivalent à une force pure au niveau du Cres de la dent ;</li> <li>• Aucune rotation de la dent ne se produit ;</li> <li>• Le Crot est situé à l'infini ;</li> <li>• Le ratio M/F est équivalent à 10.</li> </ul>	
<b>Mouvement de racine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produite par l'application d'un système de force au niveau du boîtier combiné à un moment, afin de surtout créer un mouvement de racine ;</li> <li>• Est équivalent à une force pure située près de l'apex ;</li> <li>• Le Crot est situé près du bout incisif ;</li> <li>• Le ratio M/F est équivalent à 12-13.</li> </ul>	
<b>Rotation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produite par l'application d'un couple sur la dent ;</li> <li>• Le Crot est situé au niveau du Cres.</li> <li>• Le ratio M/F est indéfini (F = 0).</li> </ul>	

*Image du boîtier Speed™ (Ontario, Canada)*

#### **2.4.5.2. Biomécanique d'Invisalign®**

La coquille aurait l'avantage de permettre l'application de forces dans les trois ordres de mouvement et d'éliminer la problématique de la friction engendrée avec les boîtiers fixes et les fils orthodontiques (91). Par contre, les systèmes de force exacts produits par Invisalign® n'avaient pas été évalués avant l'étude de Simon et al. en 2013 (89). Leurs résultats sont encourageants, puisqu'ils démontrent que les moments et les forces obtenus avec les coquilles sont équivalents aux valeurs répertoriées dans la littérature. Ils ont également été capables de produire des mouvements de torque et de translation grâce à l'application du système de force approprié, grâce aux attaches et aux autres auxiliaires automatiquement ajoutés au ClinCheck® par Align Technology. Par contre, ils ont observé que bien que les ClinChecks® planifient des mouvements dentaires constants, de grandes variations existent au sein du système de forces. Ainsi, une coquille peut appliquer la force idéale, alors que la suivante appliquera des forces assez basses. Les mouvements dentaires obtenus ne sont donc pas constants, comme on retrouverait dans un système de boîtiers fixes, et les forces diminuent de façon exponentielle lors du port de la coquille, indépendamment de la présence d'attaches.

L'application de forces sur la dent se fait grâce au contact entre la coquille et la dent, ce qui crée à la fois la rétention et l'activation nécessaires au mouvement. La rétention se fait grâce aux contre-dépouilles naturelles de la dent, alors que l'activation se fait avec la déformation élastique de la coquille. Cette déformation élastique ayant ses limites, ceci explique pourquoi certains mouvements, tels que le torque, le parallélisme des racines et les extrusions, sont beaucoup plus difficiles à obtenir que d'autres, bien que possibles (6). Il est donc essentiel d'ajouter des attaches afin de pouvoir engendrer les forces et les moments nécessaires à ces mouvements. La troisième génération de coquilles a intégré des attaches afin de pouvoir créer des moments permettant le mouvement.

#### **2.4.6. Limitations du système**

Une des limitations principales du système est la formation d'une béance en cours de traitement en raison de l'épaisseur de l'acrylique des coquilles. Cette intrusion pourrait représenter de 0,25 à 0,5 mm selon des études. Afin de régler cela, le clinicien devrait découper



les coquilles au distal des canines lorsqu'il arrive en fin de traitement, afin que les dents postérieures puissent ré-érupter passivement et se repositionner en occlusion optimale (82).

La coopération du patient est évidemment un autre problème lié à Invisalign<sup>®</sup>, comme avec tous les appareils amovibles. Le port des coquilles doit être régulier et de durée suffisante pour obtenir les résultats optimaux.

#### **2.4.7. Chirurgie orthognatique et Invisalign<sup>®</sup>**

Étant donné la demande grandissante des patients d'avoir recours à des options esthétiques de traitement, la question de la possibilité de traiter des cas chirurgicaux à l'aide du système Invisalign<sup>®</sup> s'impose. À ce jour, la littérature ne répertorie que des études de cas sur le sujet, d'où l'intérêt du présent projet.

Proffit indique qu'il est possible de procéder à un traitement combiné de chirurgie orthognatique et d'Invisalign<sup>®</sup> en faisant l'alignement pré- et post-chirurgical grâce à cette technologie, à condition de mettre en place des boîtiers fixes pour procéder à la chirurgie (1). Ceci est appuyé par Boyd (92), qui a rapporté pouvoir accomplir une chirurgie d'ostéotomie sagittale d'avancement ou de recul mandibulaire avec Invisalign<sup>®</sup> et l'utilisation conjointe de boîtiers fixes pour la finition pré-chirurgicale et la procédure chirurgicale. Une seconde étude de cas, réalisée par Womack (93), rapporte l'exécution d'une chirurgie d'avancement mandibulaire sans boîtiers fixes, mais avec la mise en place de barres de fixation d'arcades en métal. Celles-ci devaient être retirées chirurgicalement six semaines plus tard. L'auteur indique que des mini-vis auraient également pu être utilisées pour assurer la fixation intermaxillaire. La dernière étude disponible sur le sujet est celle de Marcuzzi (94), qui décrit la correction chirurgicale d'une classe III squelettique avec l'unique utilisation de coquilles Invisalign<sup>®</sup> et l'ajout de boutons sur les dents pour permettre la fixation intermaxillaire post-chirurgicale.

Ces trois études étant des rapports de cas, il est possible de statuer que davantage de recherche est définitivement nécessaire afin de pouvoir tirer des conclusions claires sur la possibilité du traitement conjoint d'Invisalign<sup>®</sup> et de chirurgie orthognatique.

## **2.5. Méthodes d'évaluation des cas**

### **2.5.1. Historique de l'American Board of Orthodontics (ABO)**

L'American Board of Orthodontics fut créé aussi tôt qu'en 1929 par The American Society of Orthodontia, qui devint plus tard l'American Association of Orthodontists (AAO). L'ABO vit le jour dans l'optique de créer une méthode de certification pour les orthodontistes. Leurs objectifs étaient alors décrits ainsi :

« To elevate the standards of the practice of orthodontia; to familiarize the public with its aims and ideals; to protect the public against irresponsible and unqualified practitioners. »  
(95)

Le but premier de l'ABO n'était donc pas de fournir un droit de pratique aux orthodontistes ou un quelconque diplôme, mais plutôt de leur fournir une certification de réalisation et d'achèvement envers une pratique orthodontique de haut niveau. En 1950, l'ABO devint le seul bureau reconnu par l'AAO pour la certification de la spécialité d'orthodontie, bien que ça ne soit pas une exigence pour pratiquer l'orthodontie aux États-Unis.

Il n'est pas nouveau de vouloir évaluer les résultats des traitements orthodontiques. Diverses méthodes furent utilisées au fil des années afin de comparer les résultats finaux des traitements orthodontiques avec les modèles initiaux. Le Peer Assessment Rating Index (PAR Index) a été développé en 1987 afin d'évaluer l'occlusion pré- et post-traitement. Bien qu'efficace, cet index manquait de précision et l'ABO souhaita donc modifier sa méthode d'évaluation. La nouvelle méthode d'évaluation clinique fut donc instaurée en 1999 sous le nom de Model Grading System (aussi connu sous le nom de Objective Grading System).

### **2.5.2. Model Grading System**

Ce système d'évaluation évalue la qualité d'un cas selon huit différents critères : l'alignement, les crêtes marginales, l'inclinaison bucco-linguale, la relation occlusale, les contacts occlusaux, le surplomb horizontal, les contacts interproximaux et l'angulation des racines. Les caractéristiques recherchées pour chacun des critères sont résumées au Tableau 9.

**Tableau 9** Critères d'évaluation du Model Grading System de l'ABO

<b>Critère</b>	<b>Description</b>
<b>Alignement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Évalué antérieurement par la coordination des bouts incisifs et des surfaces linguales au maxillaire ou buccales à la mandibule.</li> <li>• Évalué postérieurement par l'alignement des cuspidés buccales à la mandibule et par les sillons centraux au maxillaire</li> <li>• Toute déviation de plus de 0,5 mm entraîne un gain de points.</li> </ul>
<b>Crêtes marginales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Évalué par le nivellement des crêtes marginales au maxillaire et à la mandibule, sauf pour le contact canine-prémolaire et pour le distal de la première prémolaire inférieure.</li> <li>• Toute déviation de plus de 0,5 mm entraîne un gain de points.</li> </ul>
<b>Inclinaison bucco-linguale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• À la mandibule, les cuspidés buccales droite et gauche des molaires et des prémolaires devraient être sur le même plan, avec les cuspidés linguales situées 1 mm plus apicalement.</li> <li>• Au maxillaire, les cuspidés linguales des molaires et des prémolaires devraient être sur le même plan, avec les cuspidés buccales situées 1 mm plus apicalement.</li> <li>• La première prémolaire mandibulaire et la cuspide distale des deuxièmes molaires ne sont pas comptabilisées.</li> <li>• Toute déviation de ces lignes directrices entraîne un gain de points.</li> </ul>
<b>Contacts occlusaux</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les cuspidés fonctionnelles des dents postérieures devraient être en occlusion avec la table occlusale des dents opposées.</li> <li>• Une cuspide de taille réduite n'est pas comptabilisée.</li> <li>• Toute déviation de ces lignes directrices entraîne un gain de points.</li> </ul>
<b>Relation occlusale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les relations molaire et canine finales devraient être en classe I d'Angle.</li> <li>• Toute déviation de plus de 1 mm de ces lignes directrices entraîne un gain de points, sauf si le cas a été intentionnellement terminé en classe II ou III d'Angle.</li> </ul>
<b>Surplomb horizontal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En antérieur, les incisives et les canines mandibulaires doivent contacter la surface linguale des incisives et des canines maxillaires.</li> <li>• En postérieur, les cuspidés buccales des molaires et des prémolaires mandibulaires doivent contacter la surface occlusale des prémolaires et des molaires maxillaires.</li> <li>• Toute déviation de plus de 1 mm de ces lignes directrices entraîne un gain de points en postérieur et toute déviation de ces lignes directrices entraîne automatiquement un gain de points en antérieur.</li> </ul>
<b>Contacts interproximaux</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les surfaces mésiales et distales de toutes les dents devraient être en contact.</li> <li>• Toute déviation de plus de 0,5 mm entraîne un gain de points.</li> </ul>
<b>Angulation des racines</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sur une radiographie panoramique, toutes les racines des dents devraient être parallèles les unes avec les autres et être perpendiculaires au plan occlusal.</li> <li>• Toute dent qui n'est pas parallèle entraîne un gain de point, sauf pour la canine qui n'est pas comptabilisée.</li> </ul>

*Tableau réalisé à partir du document Grading System for Dental Casts and Panoramic Radiographs de l'ABO.*

Toutes les mesures nécessaires sont prises sur les modèles de plâtre à l'aide de la règle fournie dans le kit de calibration.

Afin d'être certifié par l'ABO, l'orthodontiste doit réussir un examen écrit et un examen clinique. Ce dernier consiste en la présentation de plusieurs cas cliniques. Ces cas sont évalués selon les critères mentionnés précédemment. L'orthodontiste doit présenter 4 rapports pour chacun de ces cas (Annexes 1 et 2) :

- *Written Case Report*: Description du cas sous la forme de rapport écrit ;
- *Discrepancy Index (DI)* : Mesure de la complexité du cas à partir des modèles initiaux ;
- *Cast/Radiograph Evaluation (C-R Eval)* : Mesure des résultats du traitement à partir des radiographies et des modèles finaux ;
- *Case Management Form (CMF)* : Mesures des changements squelettiques, dentaires et faciaux du cas.

Pour être considéré valide, un cas doit obtenir un score de 27 ou moins dans le Cast/Radiograph Evaluation et 7 ou moins dans le Case Management Form. Pour obtenir sa certification initiale, l'orthodontiste doit présenter 6 cas remplissant les critères suivants (96) :

- *Trois cas avec un DI de 20 ou plus ;*
- *Trois cas avec un DI de 10 ou plus ;*
- *Au moins un cas traité avec 4 extractions de prémolaires et qui n'est pas un cas de chirurgie orthognatique ;*
- *Au moins un cas qui présentait initialement une relation molaire bilatérale de classe II cuspidè-à-cuspidè ou plus sévère ou une relation molaire unilatérale de classe II complète (« full-cusp ») ;*
- *Pas plus d'un cas traité par combinaison d'orthodontie et de chirurgie orthognatique. Ce cas n'est pas obligatoire.*

### **2.5.3. Modèles numériques**

Les méthodes d'évaluation de l'ABO ont été originellement créées pour être utilisées sur des modèles de plâtre. Par contre, l'ABO permet désormais la présentation de cas sous la forme de modèles virtuels. Ainsi, l'orthodontiste peut soumettre un cas numériquement, advenant qu'il

ait complètement digitalisé sa pratique. Grâce au logiciel OrthoCAD de Cadent Inc. (version 5.1.1.113), il est possible d'utiliser les outils de l'ABO et ainsi préparer des cas pour leur soumission et leur évaluation. Zilberman et al. (97) ont été les premiers à évaluer la précision de la prise de mesure grâce à ce logiciel en comparaison avec la prise de mesure traditionnelle sur modèle de plâtre et a conclu que les deux méthodes sont cliniquement acceptables, bien que les mesures prises sur les modèles de plâtre avaient une plus grande précision. Leur recherche ne portait toutefois pas sur le système d'évaluation de modèles digital de l'ABO et celui-ci n'a donc pas été testé. La première étude ayant évalué cela a été réalisée en 2005 par Costalos et al. (98) Ils ont conclu que pour la majorité des critères (hormis pour l'alignement et l'inclinaison bucco-linguale) les valeurs digitales et sur modèles de plâtre étaient similaires. L'utilisation d'OrthoCAD serait donc à leur avis une alternative valable à la prise de mesures sur modèles de plâtre (98). Par contre, une autre étude, réalisée par Hildebrand et al. (99) en 2008, a conclu que les résultats obtenus de façon digitale ne pouvait substituer la technique manuelle, ne permettant pas d'obtenir des scores équivalents à celle-ci. La revue systématique de littérature effectuée sur le sujet en 2010, après que de nombreuses autres études aient été publiées, arriva à la conclusion que la prise de mesures sur modèles digitaux était adéquate et offrait une alternative hautement valable, bien que les articles disponibles sur le sujet soient de qualité variable (100).

## **Problématique et hypothèses**

## **3. Problématique et hypothèses**

### **3.1. Problématique**

Tel qu'indiqué dans la recension des écrits qui précède, il est possible de corriger les différentes malocclusions affectant le massif crâniofacial de façon chirurgicale, lorsque la malocclusion est trop sévère pour ne recevoir qu'une correction par camouflage dentaire. Dans un tel cas, la correction se fait grâce à un traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique. La norme dans le domaine est d'effectuer cette correction à l'aide d'appareils fixes. La durée moyenne d'un tel traitement est un point important autant pour le clinicien que pour le patient et la possibilité de pouvoir diminuer le temps total de traitement demeure sans aucun doute un attrait majeur pour ce dernier.

Ce n'est que tout récemment qu'il a été proposé de procéder au traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique à l'aide de coquilles d'alignement dentaire. Ceci vise l'objectif de répondre à la correction d'un défaut squelettique tout en conservant une alternative de traitement esthétique pour les patients matures, ce qui est de plus en plus demandé par ceux-ci. Les résultats prometteurs rapportés par les quelques cas retrouvés dans la littérature, ne font que soulever davantage la question d'efficacité et de validité d'un tel traitement. Cette recherche pourrait potentiellement faciliter l'accès aux traitements orthodontiques chez une clientèle désireuse de corriger leurs disharmonies dentofaciales et souhaitant une alternative de traitement esthétique.

### **3.2. Objectifs**

L'objectif principal de la présente étude est de déterminer la qualité de la correction des malocclusions à l'aide du système Invisalign<sup>®</sup> lors des traitements combinés d'orthodontie et de chirurgie orthognatique, tel que mesuré par les systèmes d'évaluation de cas de l'American Board of Orthodontics (ABO).

L'objectif secondaire est de déterminer la durée de traitement pré-chirurgicale, la durée post-chirurgicale, de même que la durée totale du traitement avec la technique Invisalign<sup>®</sup>.

### **3.3. Hypothèses**

La première hypothèse expérimentale du projet est qu'Invisalign<sup>®</sup> ne constitue pas une alternative équivalente aux appareils orthodontiques fixes, lorsque combiné à la chirurgie orthognatique, pour atteindre les objectifs de traitement établis par l'American Board of Orthodontics. La seconde hypothèse expérimentale est que le temps de traitement total avec Invisalign<sup>®</sup> n'est pas équivalent à celui du traitement conventionnel.

La première hypothèse nulle est qu'Invisalign<sup>®</sup> constitue une alternative aussi efficace que les appareils orthodontiques fixes pour atteindre les objectifs de traitement établis, permettant un traitement esthétique et efficace pour le patient souhaitant corriger sa disharmonie dento-squelettique. La seconde hypothèse nulle est que le temps de traitement total avec Invisalign<sup>®</sup> est équivalent au traitement avec appareils orthodontiques fixes.



## **Matériel et Méthodes**

## 4. Matériel et méthodes

Puisque la présente étude souhaitait évaluer la qualité de traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique avec Invisalign<sup>®</sup>, en comparaison avec la méthode traditionnelle de boîtiers fixes, il convenait de recruter deux groupes de patients : un groupe expérimental représenté par les patients ayant obtenu leur traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique avec Invisalign<sup>®</sup>, de même qu'un groupe contrôle comprenant des patients ayant reçu leur traitement combiné avec boîtiers fixes. Le nombre nécessaire de patients a été déterminé par le statisticien de la Faculté de médecine dentaire de l'Université de Montréal de telle façon à obtenir un groupe suffisant pour permettre les analyses statistiques appropriées, mais aussi en se basant sur la quantité de patients disponibles pour participer à l'étude.

### 4.1. Comité d'éthique

L'approbation du Comité d'Éthique et de Recherche En Santé (CERES) a été obtenue le 3 décembre 2013, après quoi le certificat d'éthique a été renouvelé en 2015 et en 2016.

### 4.2. Échantillonnage

Trente-quatre (34) patients nécessitant un traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique ont été proposés pour représenter le groupe expérimental. Ces patients ont tous reçus leur traitement orthodontique via l'utilisation de coquilles d'alignement Invisalign<sup>®</sup>.

Les critères d'inclusion pour faire partie du groupe expérimental étaient :

- *Traitement complet des arcades maxillaire et mandibulaire avec des coquilles d'alignement Invisalign<sup>®</sup> ;*
- *Patient dont la croissance est terminée (>CS4 au temps de la chirurgie) ;*
- *Dentition permanente ;*
- *Patient avec malocclusion squelettique requérant un traitement combiné d'orthodontie et de chirurgie orthognatique.*
- *Patient avec bonne santé parodontale.*

Les critères d'exclusion étaient :

- *Présence d'implants dentaires ;*
- *Nécessité de chirurgie multi-segmentaire ou d'expansion palatine rapide assistée chirurgicalement (EPRAC) ;*
- *Patient présentant une fente labiale ou labio-palatine ou toute autre malformation cranio-faciale congénitale ;*
- *Traitement effectué dans l'optique d'une correction post-traumatique ;*
- *Patient ayant préalablement subi une chirurgie orthognatique.*

Le groupe contrôle a ensuite été bâti en tentant de sélectionner des patients répondant sensiblement aux mêmes types de malocclusion et ayant obtenus le même type de chirurgie au sein de la pratique d'un des autres auteurs, bien que nous étions limités au niveau de la disponibilité des cas. Les critères d'inclusion et d'exclusion demeurèrent les mêmes, à l'exception que ces patients ont reçu leur traitement orthodontique complet à l'aide de boîtiers conventionnels plutôt qu'avec Invisalign<sup>®</sup>. Ainsi, dans ce groupe, 27 patients ont été proposés.

### **4.3. Données recueillies**

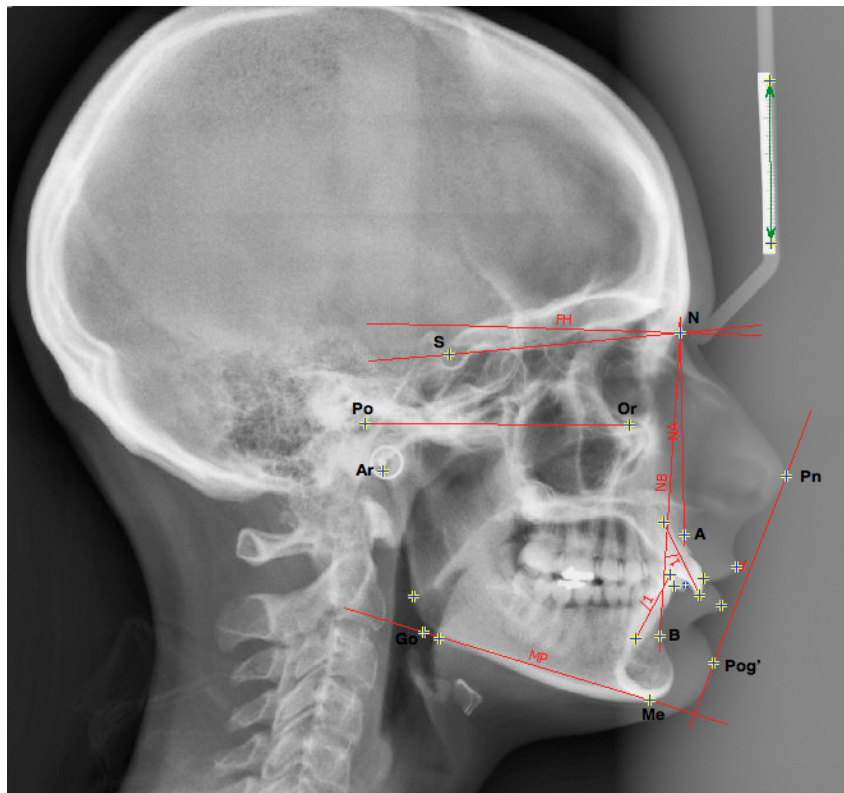
Pour chaque patient ayant accepté de participer à l'étude, les données suivantes étaient recueillies au sein du dossier orthodontique :

- *Date de naissance, sexe, type de malocclusion et plan de traitement établi ;*
- *Données initiales prétraitement et finales post-traitement : photos, modèles d'études, radiographies panoramiques et céphalométriques ;*
- *Type de chirurgie effectuée ;*
- *Dates clés pour évaluer la durée du traitement :*
  - *T1 :* date de la mise en bouche de la première coquille Invisalign<sup>®</sup> ou de la mise en place des boîtiers orthodontiques ;
  - *T2a :* date de la mise en bouche de la dernière coquille pré-chirurgicale ou date du dernier rendez-vous pré-chirurgical avec mise en place des poteaux chirurgicaux ;
  - *T2b :* date de la chirurgie orthognatique ;

- *T2c* : date de la première coquille post-chirurgicale ou date du premier suivi d'ajustement post-chirurgical ;
- *T3* : date de fin de traitement.

#### 4.4. Matériel et méthodes

Lorsque les modèles orthodontiques disponibles étaient en plâtre, ils étaient digitalisés à l'aide du scanner iTero<sup>®</sup> afin d'obtenir un modèle de type iRecord<sup>®</sup> permettant l'analyse à l'aide du logiciel OrthoCAD (Cadent, version 5.1.1.113). Les modèles digitaux initiaux ont été analysés grâce à l'outil DI disponible dans le logiciel, alors que les modèles finaux ont été analysés grâce à l'outil Phase III, qui correspond au C-R Eval (MGS). Toutes les radiographies céphalométriques ont été analysées à l'aide du logiciel Vistadent OC Orthodontic Imaging (Dentsply GAC, version 4.3.45) (Figure 36 et Tableau 10), et les radiographies panoramiques ont été analysées pour ensuite compléter les formulaires fournis par l'ABO (Annexes 1 et 2).



**Figure 36** Tracé céphalométrique latéral

**Tableau 10** Description des points et repères céphalométriques analysés selon l'ABO

Valeur céphalométrique	Description
<b>SNA (°)</b>	Angle formé par les points Sella (S), Nasion (N) et A.
<b>SNB (°)</b>	Angle formé par les points Sella (S), Nasion (N) et B.
<b>ANB (°)</b>	Angle formé par les points A, Nasion (N) et B.
<b>MP</b>	Plan formé par les points Menton (Me) et Gonion (Go)**
<b>SN-MP (°)</b>	Angle formé entre la base crânienne (SN) et la plan mandibulaire (MP)
<b>FMA (°)</b>	Angle formé entre le plan mandibulaire (MP) et le plan de Frankfort (FH)
<b>1/-NA (mm)</b>	Distance entre la surface labiale de 1/ et le plan formé par Nasion-A
<b>1/-SN (°)</b>	Angle formée entre l'axe de 1/ et la base crânienne (SN)
<b>/1-NB (mm)</b>	Distance entre la surface labiale de /1 et le plan formé par Nasion-B
<b>/1-MP (°)</b>	Angle formé entre l'axe de /1 et le plan mandibulaire (MP)
<b>EL-UL (mm)</b>	Distance entre la ligne esthétique (Pn-Pog') et la lèvre supérieure
<b>EL-LL (mm)</b>	Distance entre la ligne esthétique (Pn-Pog') et la lèvre inférieure

*\*\* Le point Gonion est construit à partir de l'intersection entre le rebord de la mandibule et la bissectrice de l'angle formé par le plan tangent au bord postérieur de la branche montante de la mandibule et le plan tangent au bord inférieur du corps de la mandibule.*

## 4.5. Analyse de fiabilité

Afin de déterminer la fiabilité intra-examineur, l'auteur principale a refait les tracés céphalométriques latéraux de seize patients choisis aléatoirement (huit patients par groupe). Il en est de même pour le DI et le C-R Eval, qui ont tous deux été refaits sur les modèles digitaux à l'aide du logiciel OrthoCAD pour les mêmes seize patients. Toutes ces mesures ont été faites au moins deux semaines après la prise initiale de données. Une collaboratrice a également fait les mesures de ces mêmes patients pour déterminer la fiabilité inter-examineur. L'analyse statistique de la fiabilité a été effectuée grâce aux coefficients de corrélation intra-classe (ICC) (Tableau 11).

**Tableau 11** Interprétation conventionnelle de l'ICC

Valeurs de l'ICC	Accord
ICC = 0	Nul
ICC < 0.3	Bas
0.31 < ICC < 0.5	Limité
0.51 < ICC < 0.7	Modéré
0.71 < ICC < 0.9	Bon
ICC > 0.91	Excellent
ICC = 1	Parfait

Pour la fiabilité intra-examineur, l'ICC moyen était 0,988 pour l'angle ANB, 0,986 pour l'angle SN-MP et 0,966 pour l'angle /1-MP. Ces résultats indiquent un accord excellent. L'ICC moyen pour le score total du DI était 0,989, alors qu'il était de 0,982 pour le C-R Eval. Ceci indique également une excellente fiabilité.

Pour la fiabilité inter-examineur, l'ICC moyen pour l'angle ANB était 0,833, ce qui démontre un bon accord. Les ICCs étaient 0,974 pour l'angle SN-MP et 0,925 pour l'angle /1-MP, indicateurs d'un excellent accord. Par rapport aux scores totaux, l'ICC moyen était 0,771 pour le DI et 0,880 pour le C-R Eval, tous deux synonymes d'un bon accord.

#### **4.6. Analyse statistique**

Les analyses statistiques ont été réalisées par le statisticien de la Faculté de médecine dentaire de l'Université de Montréal avec le logiciel SPSS Statistics (IBM Corporation, 2015). La complexité des cas (évaluée par le DI), les scores finaux de traitement (évalués par le MGS) et les durées de traitement (en jours) ont été analysés grâce au test U de Mann-Whitney avec échantillons indépendants. Ensuite, le test rho de Spearman a été utilisé pour évaluer si une relation proportionnelle existait entre les scores obtenus, en corrélant le MGS au DI, de même que le MGS au temps de traitement. Finalement, le test exact de Fisher a été utilisé pour déterminer si une différence significative existait entre les taux de passage des deux groupes

pour le score du MGS. Une valeur  $p \leq 0,05$  était considérée statistiquement significative pour tous ces tests.

## **Article**



## 5. Article

*Manuscript in preparation for submission to the American Journal of Orthodontics  
and Dentofacial Orthopedics*

### **Duration and Outcomes of Combined Orthodontic-Surgical Treatment with Invisalign®.**

**Authors:** Pascale Robitaille, D.M.D.<sup>1</sup>, Sam Daher, D.D.S., F.R.C.D. (c), M.Sc.<sup>2</sup>,  
André Martel, D.M.D., F.R.C.D. (c), M.Sc.<sup>3</sup>, Athena Papadakis, BDS,  
FDS RCS, F.R.C.D. (c), M.Sc.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Dentistry, Department of Orthodontics, University of  
Montreal

<sup>2</sup> Private practice in Vancouver, British-Columbia, Canada

<sup>3</sup> Private practice in Chicoutimi, Quebec, Canada

#### **Address for correspondence and reprints:**

Athena Papadakis, BDS, FDS RCS, F.R.C.D.(c), M.Sc.  
Associate professor, University of Montreal  
Faculty of Dentistry  
C.P. 6128 Succ. Centre-Ville  
Montreal, Quebec, H3C 3J7  
Tel.: (514) 343-6111 #3452

*Acknowledgements: Pierre Rompré, Kenneth Lam, Caroline Blais*

© Pascale Robitaille, 2016

## 5.1. Abstract

**INTRODUCTION** Numerous esthetic orthodontic treatment options currently exist to correct dental malocclusions. The gold standard in orthognathic surgery is to use orthodontic brackets. Recently, clear aligners have been proposed as an alternative. The current available literature on this topic consists exclusively of case reports. Therefore, it seems reasonable to assume that further research is needed on this matter.

**OBJECTIVE** The primary objective of this retrospective study aims to evaluate the quality of the outcomes of combined orthodontic and surgical treatments with Invisalign<sup>®</sup> when compared with conventional orthodontic treatments. The secondary objective is to evaluate the duration of treatment with Invisalign<sup>®</sup>, in comparison with conventional treatment with braces.

**MATERIAL/METHODS** Forty-nine patients were recruited from two orthodontic private practices (24 Invisalign<sup>®</sup> / 25 bracket controls). Both groups were initially similar, as per the ABO Discrepancy Index. The outcomes were assessed using the ABO Phase III method (MGS).

**RESULTS** The MGS mean scores were consistently higher for Invisalign<sup>®</sup> and there was a significant difference between the groups regarding alignment, occlusal contacts, root angulations and total score. The duration of pre-surgical preparation and of the total treatment time were shorter for the Invisalign<sup>®</sup> group ( $p \leq 0.05$ ).

**CONCLUSION** Invisalign<sup>®</sup> provided faster combined orthodontic and orthognathic surgery treatment, yet demonstrated inferior quality of results when compared to conventional brackets by the MGS.

**KEY WORDS** *Orthodontics, Orthognathic surgery, Invisalign, Clear aligners, Malocclusion*

## 5.2. Introduction

In the recent years, numerous esthetic alternative appliances have appeared in the orthodontic marketplace in order to satisfy the high demand from patients. Adults are increasingly more interested in receiving orthodontic treatment and according to the latest statistics, 30% of the American orthodontic population consists of 40 year olds or older (1). For some patients, esthetics is as important a factor, during orthodontic treatment, as cost, pain, general well-being and duration of orthodontic treatment (2). Therefore, many esthetic alternatives are currently available to treat dental malocclusions, such as porcelain brackets, lingual appliances and clear aligners.

It was Align Technology that mainly promoted clear aligners in the late 90's under the Invisalign® trademark. Whereas Kesling described in 1945 a technique using silicone dental positioners to accomplish final detailing in his treatments (4), before Invisalign® was created, only minor tooth movements with Essix appliances could be obtained. Through CAD-CAM, Align Technology was able to create a set of transparent removable aligners that would gradually lead to dental correction of a malocclusion (5).

The esthetic options currently available allow the practitioner to offer patients an esthetic method of correcting their dental malocclusion. However, aesthetic skeletal malocclusion correction has never been available. Severe malocclusions that cannot be corrected with orthodontics and camouflage alone require advanced treatments combining orthodontics and orthognathic surgery (1). Combined orthodontic-surgical treatment with braces remains the gold standard in orthodontics and the idea of using Invisalign® in combination with orthognathic surgery is still relatively unexplored.

Up until now, the only available literature concerning this kind of treatment is in the form of case reports. It is therefore possible to assert that more research is needed in this field. The present study aims to evaluate the duration and outcomes of combined orthodontic and surgical treatment with Invisalign®, in comparison with conventional brackets.

The primary objective of this study is to assess the quality of correction of the malocclusion with the Invisalign® system when combined to orthognathic surgery, as evaluated

by the American Board of Orthodontics and to compare it with fixed contemporary brackets. The secondary objective is to assess the duration of treatment pre-surgically and post-surgically, as well as the total treatment time with the Invisalign<sup>®</sup> system, when compared to traditional fixed appliances.

### **5.3. Materials and methods**

#### **5.3.1. Ethics committee approval**

This research was approved by the Ethics Committee of the University of Montreal (Comité d'Éthique et de Recherche En Santé – CERES).

#### **5.3.2. Study population**

Thirty-four (34) patients needing a combined orthodontics and orthognathic surgery treatment were initially recruited.

Inclusion criteria to be part of the study were:

- *Patient received complete dental treatment with Invisalign<sup>®</sup> aligners;*
- *Mature patient with completed growth (>CS4 at surgery time);*
- *Patient in permanent dentition;*
- *Patient with skeletal malocclusion requiring combined orthodontic and orthognathic surgical treatment.*
- *Patient with healthy periodontium.*

Exclusion criteria were:

- *Presence of dental implants;*
- *Patient requiring a multi-segmental surgery or a surgically assisted rapid palatal expansion (SARPE);*
- *Patient presenting a labial fissure or a labio-palatal fissure or any congenital craniofacial malformation;*

- *Treatment executed in order to correct a malocclusion resulting from a previous trauma;*
- *Patient having already undergone orthognathic surgery.*

The control group was then recruited to match the experimental group for malocclusion and surgery types. Inclusion and exclusion criteria remained the same as for the experimental groups, except that these patients received complete dental treatment with conventional braces. Twenty-seven (27) patients were recruited.

### **5.3.3. Data collected**

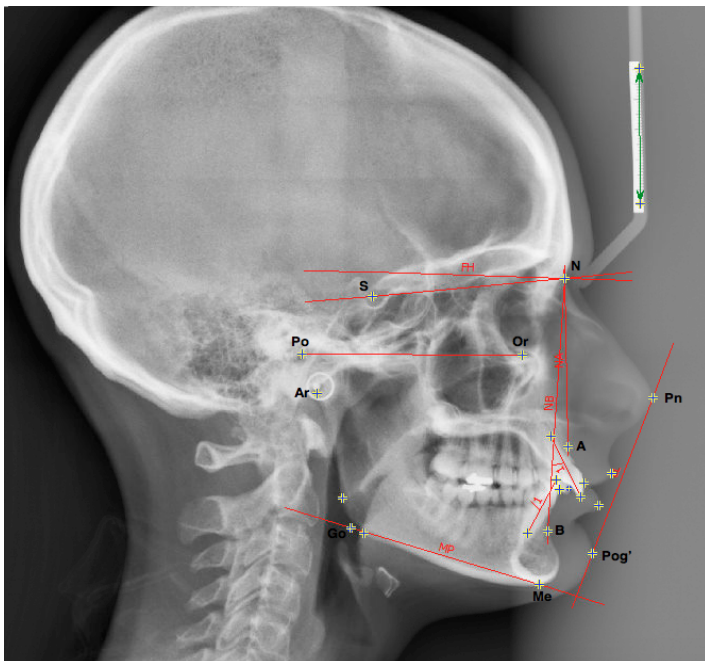
For each patient that accepted to be part of the study, specific information and data were gathered:

- *Date of birth, sex and established treatment plan;*
- *Initial (pre-treatment) and final (post-treatment) records: pictures, study models, panoramic and cephalometric radiographs;*
- *Type of surgery;*
- *Timing of key events:*
  - *T1:* date of insertion of initial Invisalign<sup>®</sup> aligner or bonding of brackets.
  - *T2a:* date of insertion of last Invisalign<sup>®</sup> aligner before surgery or date of last appointment before surgery with placement of surgical hooks;
  - *T2b:* date of orthognathic surgery;
  - *T2c:* date of insertion of the first Invisalign<sup>®</sup> aligner post-surgery or date of the first follow-up appointment post-surgery
  - *T3* date of removal of the last aligners or debonding of brackets.

### **5.3.4. Material and methods**

Plaster models were digitalized with the iTero<sup>®</sup> scanner in order to obtain an iRecord<sup>®</sup> model that could be analysed with the OrthoCAD software (Cadent, version 5.1.1.113). Initial

models were analysed using the Discrepancy Index (DI) of the American Board of Orthodontics (ABO), in order to obtain an objective score of case complexity. With this tool, ten criteria were analyzed for each pre-treatment digital model: overjet, overbite, anterior open-bite, lateral open-bite, crowding, occlusal relationship, lingual posterior cross-bites, buccal posterior cross-bites, cephalometric values and other factors adding to the complexity of the case. Points were scored for each category and the sum of these points corresponds to the DI score. Final models, on the other hand, were analysed with the Phase III tool (equally referred to as C-R Eval, Model Grading System (MGS) or Objective Grading System (OGS)). This tool evaluates the overall result of an orthodontically-treated case according to eight criteria: alignment, marginal ridges, buccolingual inclination, occlusal contacts, occlusal relationship, overjet, interproximal contacts and root angulation. Points were also scored for each of these categories and the sum equals the MGS score. According to the ABO, a score inferior to 27 generally receives a passing grade. Cephalometric radiographs were analysed using Vistadent OC Orthodontic Imaging software (Dentsply GAC, version 4.3.45) (Figure 37 and Table 12). Panoramic radiographs were also analyzed and the forms of the ABO tools were completed for each patient (DI and C-R Eval).



**Figure 37** - Lateral Cephalometric Tracing

**Table 12** Description of cephalometric landmarks as analysed by the ABO

<b>Cephalometric value</b>	<b>Description</b>
<b>SNA (°)</b>	Angle between Sella (S), Nasion (N) and A.
<b>SNB (°)</b>	Angle between Sella (S), Nasion (N) and B.
<b>ANB (°)</b>	Angle between A, Nasion (N) and B.
<b>MP</b>	Plane created by Menton (Me) and Gonion (Go)**
<b>SN-MP (°)</b>	Angle between the cranial base (SN) and the mandibular plane (MP)
<b>FMA (°)</b>	Angle between the mandibular plane (MP) and Frankfort plane (FH)
<b>1/-NA (mm)</b>	Distance between labial surface of 1/ and the plane created by Nasion-A
<b>1/-SN (°)</b>	Angle between the axis of 1/ and the cranial base (SN)
<b>/1-NB (mm)</b>	Distance between labial surface of /1 and the plane created by Nasion-B
<b>/1-MP (°)</b>	Angle between the axis of /1 and the mandibular plane (MP)
<b>EL-UL (mm)</b>	Distance between esthetic line (Pn-Pog') and upper lip
<b>EL-LL (mm)</b>	Distance between esthetic line (Pn-Pog') and lower lip

*\*\* Gonion is constructed from the intersection of the outline of the mandible and the bisecting angle of a line tangent to the posterior border of the ramus and a line tangent to the inferior border of the body of the mandible (According to the ABO, 2015)*

### **5.3.5. Data analysis**

#### **5.3.5.1. Reliability analysis**

Intra- and inter-examiner reliability tests were performed for cephalometric tracings (ANB angle, SN-MP angle and /1-MP angle) and for total scores of DI and C-R Eval (Phase III). Sixteen patients were randomly chosen and measurements were repeated at least two weeks after the initial data analysis. The Intraclass Correlation Coefficient (ICC) was used to assess the reliability. (Table 13)

**Table 13** Conventional interpretation of ICC

ICC value	Agreement
ICC = 0	None
ICC < 0.3	Low
0.31 < ICC < 0.5	Limited
0.51 < ICC < 0.7	Moderate
0.71 < ICC < 0.9	Good
ICC > 0.91	Excellent
ICC = 1	Perfect

For intra-examiner reliability, the mean ICC values were 0.988 for ANB angle, 0.986 for SN-MP angle and 0.966 for /1-MP angle. These ICC values indicate excellent reliability. The mean ICC value for total DI scores was 0.989, whereas the value was 0.982 for total C-R Eval. These results also show excellent reliability.

For inter-examiner reliability, the mean ICC values were 0.833 for ANB angle, showing good agreement. Results were 0.974 for SN-MP angle and 0.925 for /1-MP angle, both indicators of excellent reliability. Concerning total scores, ICC was 0.771 for mean DI score and 0.880 for C-R Eval, which are synonyms with good agreement.

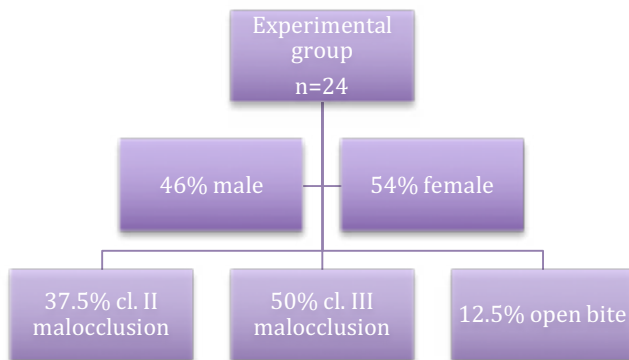
### **5.3.5.2. Statistical analysis**

Statistical analysis was carried out using the SPSS Statistics software (IBM Corporation, 2015). Case complexity (as evaluated by the DI), final treatment scores (as evaluated by the MGS) and treatment durations (in days) were analyzed using the Independent samples Mann-Whitney U test. Spearman's rho test was used to evaluate if a proportional relationship existed between obtained scores, correlating the MGS to the DI, as well as the MGS to the treatment duration. Finally, Two-sided Fisher's exact test determined if a statistical difference existed between the success rate of both groups for the MGS. A value of  $p \leq 0.05$  was considered statistically significant for all tests.

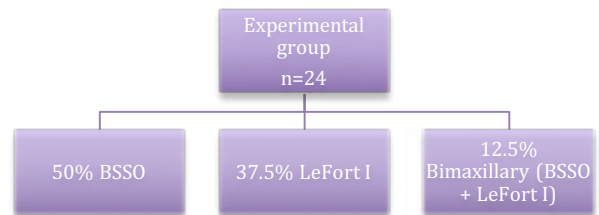


## 5.4. Results

In the experimental group, of the 34 patients initially submitted to the main author, 2 patients didn't provide consent, 1 was excluded because of a different surgeon, 1 was excluded because of numerous missing teeth, 1 was excluded because fixed appliances were used during treatment, 3 patients did not complete their treatment in time and 2 patients had missing data from their chart preventing case analysis. The final group therefore constituted 24 patients (Figures 38-39). The mean age of this group was 30.7 years of age at the time of surgery (18.8-55.1 y.o.) and the median was 28.3 years of age.

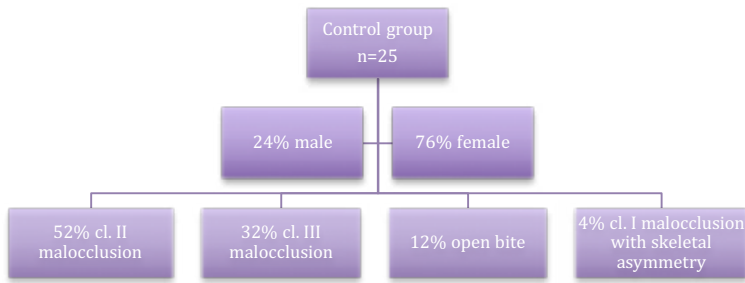


**Figure 38** - Composition of experimental group

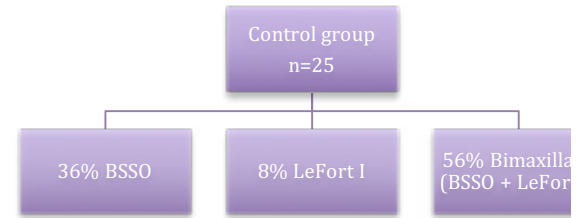


**Figure 39** - Types of surgery in experimental group

In the control group, 27 patients were proposed initially. Two patients were excluded because of numerous missing teeth. This group therefore constituted of 25 patients (Figures 40-41). The mean age was 24.9 years of age at the time of surgery (16.7 - 40.6 y.o.) and the median was 23.2 years of age.



**Figure 40** - Composition of control group



**Figure 41** - Types of surgery in control group

A discrepancy existed between the ages of the patients of the two groups ( $p=0.018$ ), the Invisalign<sup>®</sup> group being older than the control group. The sex distribution within the groups was not statistically significant ( $p=0.140$ ).

When comparing both groups, the mean DI scores were similar and there was no statistically significant difference between them, even though two criteria (anterior open bite and other) showed a significant difference between the groups ( $p<0.05$ ). (Table 14)

**Table 14** Discrepancy Index mean scores to assess case complexity (Independent Samples Mann-Whitney U Test used to evaluate differences between groups)

	Invisalign <sup>®</sup>	Control	p value
<b>Overjet</b>	5.708 (SD 5.2707)	4.720 (SD 3.0892)	0.952
<b>Overbite</b>	1.292 (SD 1.9216)	2.000 (SD 2.1213)	0.203
<b>Anterior Openbite</b>	4.375 (SD 5.8296)	1.200 (SD 3.6401)	0.010
<b>Lateral Openbite</b>	0.833 (SD 2.3529)	0.320 (SD 0.9452)	0.599
<b>Crowding</b>	2.542 (SD 1.8645)	3.320 (SD 2.5120)	0.383
<b>Occlusal Relationship</b>	6.083 (SD 3.2426)	4.520 (SD 2.8449)	0.105
<b>Lateral Post Crossbite</b>	0.0750 (SD 1.6219)	1.000 (SD 1.7321)	0.454
<b>Buccal Post Crossbite</b>	0.083 (SD 0.4082)	0.160 (SD 0.5538)	0.580
<b>Cephalometric</b>	9.083 (SD 7.6665)	10.120 (SD 8.0484)	0.688
<b>Other</b>	1.792 (SD 1.7189)	3.200 (SD 2.2361)	0.023
<b>Total DI</b>	32.542 (SD 11.7176)	30.560 (SD 10.1820)	0.726

The comparison between both groups showed a significant difference for 3 categories of the MGS (alignment, occlusal contacts and root angulation) and for the total MGS score. (Table 15)

**Table 15** Model Grading System (Phase III) mean scores to assess treatment outcomes (Independent Samples Mann-Whitney U Test used to evaluate differences between groups)

	<b>Invisalign®</b>	<b>Control</b>	<b>p value</b>
<b>Alignment</b>	5.125 (SD 3.7103)	0.920 (SD 1.4978)	0.000
<b>Marginal Ridges</b>	3.667 (SD 2.9291)	2.800 (SD 1.9365)	0.353
<b>Buccolingual Inclination</b>	6.583 (SD 3.7174)	6.160 (SD 2.7791)	0.793
<b>Overjet</b>	8.750 (SD 6.2711)	6.280 (SD 3.2599)	0.220
<b>Occlusal Contacts</b>	13.500 (SD 5.2254)	9.440 (SD 3.4890)	0.012
<b>Occlusal Relationship</b>	2.792 (SD 3.2030)	2.120 (SD 2.9625)	0.393
<b>Interproximal contacts</b>	0.125 (SD 0.3378)	0.120 (SD 0.3317)	0.958
<b>Root Angulation</b>	1.083 (SD 1.1001)	0.160 (SD 0.4726)	0.001
<b>Total MGS</b>	41.625 (SD 12.7068)	28.000 (SD 6.0139)	0.000

The MGS scores were correlated to the DI scores with the Spearman’s rho test to evaluate if a proportional relationship existed between them. For both the Invisalign® and the control group, no correlation was found between the two scores. (Table 16)

**Table 16** Correlation between the MGS, the different DI criteria and the total DI score

	<u>Invisalign® MGS score</u>		<u>Control MGS score</u>	
	<b>Correlation Coefficient</b>	<b>p value</b>	<b>Correlation Coefficient</b>	<b>p value</b>
<b>Overjet</b>	0.356	0.088	0.269	0.194
<b>Overbite</b>	0.146	0.495	0.079	0.708
<b>Anterior Openbite</b>	0.015	0.944	-0.154	0.461
<b>Lateral Openbite</b>	0.354	0.090	0.080	0.704
<b>Crowding</b>	0.025	0.906	0.219	0.294
<b>Occlusal Relationship</b>	0.215	0.313	0.123	0.557
<b>Lateral Post Crossbite</b>	0.352	0.092	0.096	0.649
<b>Buccal Post Crossbite</b>	-0.045	0.834	0.041	0.846
<b>Cephalometric</b>	-0.298	0.157	-0.082	0.697
<b>Other</b>	0.172	0.421	0.153	0.465
<b>Total DI</b>	0.073	0.736	0.103	0.624

As previously stated, according to the ABO, it is mandatory that a self-evaluated case scores 30 points or less in the MGS index to be submitted and hope succeed the clinical exam. In fact, a submitted case must score 27 or less to succeed. In the control group, 15 cases cumulated 30 points or less (60%) and 10 cases had scores over 30 (40%). In the Invisalign® group, 5 cases received a score equal to 30 or less (20.8%), whereas 19 had scores over 30 (79.2%) (Table 17). Therefore, a statistically significant difference existed between the passing rates of the two groups, according to the Fisher's 2-sided exact test. (p=0.009)

**Table 17** MGS Scores repartition between Invisalign® and control group

	<b>Group</b>		<b>Total</b>
	<b>Invisalign®</b>	<b>Control</b>	
<b>MGS Score ≤ 30</b>	5 (20.8%)	15 (60%)	20 (40.8%)
<b>MGS Score &gt; 30</b>	19 (79.2%)	10 (40%)	29 (59.2%)

When the duration of treatment was analyzed, the mean pre-surgical treatment time (T1-T2a) was significantly lower ( $p=0.000$ ) in the Invisalign® group. The difference in mean post-surgical time (T2c-T3) between the two groups was not significant ( $p=0.509$ ), but the control group demonstrated a shorter treatment time for that period. The mean overall treatment time (T1-T3) was significantly lower for the Invisalign® group when compared to the control ( $p=0.047$ ). Finally, if the period between the last appointment before surgery (T2a) and the first appointment after surgery (T2c) is removed from the total duration of treatment – which gives us the total treatment time of active orthodontics only – the average Invisalign® treatment duration was also shorter than the control group ( $p=0.052$ ) (Table 18).

**Table 18** Duration of treatment in days according to different key times

	<b>Invisalign® (days)</b>	<b>Control (days)</b>	<b>p value</b>
<b>Pre-surgical (T1-T2a)</b>	322.33 (SD 141.95)	543.60 (SD 236.20)	0.000
<b>Post-surgical (T2c-T3)</b>	400.79 (SD 304.17)	319.36 (SD 101.79)	0.509
<b>Total (T1-T3)</b>	774.38 (SD 385.96)	920.00 (SD 213.33)	0.047
<b>Total (orthodontics only)</b>	723.13 (SD 393.52)	862.96 (SD 212.08)	0.052

The total duration of the orthodontic treatment was examined in correlation with the total DI score, with a Spearman’s rho test. No significant correlation was observed between a higher DI score and a longer total treatment time for orthodontics (T1-T2a + T2c-T3) for the control group ( $p=0.057$ ) nor the Invisalign® group ( $p=0.177$ ). It seems reasonable to conclude that the

pre-treatment DI score did not influence the duration of treatment. There was a statistically significant correlation for the overjet score of the control group with the post-treatment time ( $p=0.047$ ). A significant correlation also existed for the occlusal relationship score of the Invisalign® group and the treatment time of the orthodontics alone ( $p=0.028$ ). Finally, a significant correlation was also established between the total DI score of the Invisalign® group and the post-surgical treatment time (Tables 19 and 20).

**Table 19** Correlation between the duration of treatment, the different DI criteria and the total DI score for the Invisalign® group

	<u>Pre-surgical</u> <u>(T1-T2a)</u>		<u>Post-surgical</u> <u>(T2c-T3)</u>		<u>Total time</u> <u>(T1-T3)</u>		<u>Total (only</u> <u>orthodontics)</u>	
	Correlation Coefficient	p value	Correlation Coefficient	p value	Correlation Coefficient	p value	Correlation Coefficient	p value
<b>Overjet</b>	-0.151	0.481	0.352	0.092	0.077	0.722	0.083	0.700
<b>Overbite</b>	0.166	0.437	0.385	0.063	0.340	0.104	0.381	0.066
<b>Anterior Openbite</b>	-0.207	0.332	-0.262	0.215	-0.263	0.214	-0.324	0.122
<b>Lateral Openbite</b>	-0.067	0.756	0.086	0.688	-0.038	0.859	-0.048	0.823
<b>Crowding</b>	0.391	0.059	0.300	0.154	0.320	0.127	0.396	0.055
<b>Occlusal Relationship</b>	0.203	0.342	0.449	0.028	0.274	0.195	0.311	0.139
<b>Lateral Post Crossbite</b>	0.190	0.374	0.351	0.093	0.112	0.604	0.105	0.625
<b>Buccal Post Crossbite</b>	0.136	0.528	-0.015	0.944	0.196	0.359	0.075	0.727
<b>Cephalometric</b>	0.359	0.085	0.236	0.266	0.223	0.294	0.276	0.191
<b>Other</b>	0.195	0.361	0.287	0.175	0.249	0.240	0.219	0.303
<b>Total DI</b>	0.254	0.231	0.472	0.020	0.276	0.192	0.285	0.177

**Table 20** Correlation between the duration of treatment, the different DI criteria and the total DI score for the control group

	<u>Pre-surgical</u> <u>(T1-T2a)</u>		<u>Post-surgical</u> <u>(T2c-T3)</u>		<u>Total time</u> <u>(T1-T3)</u>		<u>Total (only</u> <u>orthodontics)</u>	
	Correlation Coefficient	p value	Correlation Coefficient	p value	Correlation Coefficient	p value	Correlation Coefficient	p value
<b>Overjet</b>	0.364	0.074	-0.400	0.047	0.244	0.240	0.226	0.277
<b>Overbite</b>	0.088	0.677	0.072	0.732	0.207	0.320	0.223	0.283
<b>Anterior Openbite</b>	-0.145	0.491	0.010	0.964	-0.255	0.218	-0.286	0.167
<b>Lateral Openbite</b>	-0.115	0.586	0.070	0.741	0.014	0.946	0.031	0.884
<b>Crowding</b>	0.265	0.200	-0.038	0.857	0.114	0.586	0.140	0.503
<b>Occlusal Relationship</b>	-0.116	0.582	0.050	0.814	0.092	0.661	0.103	0.625
<b>Lateral Post Crossbite</b>	0.054	0.796	-0.204	0.329	-0.062	0.767	-0.055	0.795
<b>Buccal Post Crossbite</b>	-0.184	0.379	0.000	1.000	-0.245	0.237	-0.204	0.327
<b>Cephalometric</b>	0.070	0.740	-0.036	0.865	0.208	0.318	0.203	0.331
<b>Other</b>	0.353	0.083	-0.179	0.392	0.181	0.386	0.171	0.413
<b>Total DI</b>	0.341	0.096	-0.193	0.356	0.363	0.074	0.385	0.057

## 5.5. Discussion

Results showed an age difference between the control and the Invisalign® group. The latter reported a higher mean age at surgery time (T2b) (p=0.018). This correlates with the current literature which is reporting more adult patients are seeking for orthodontic treatments by esthetic means (1,2,86,101). Even though the age difference between both groups is statistically significant, it is worth noting that it is of only 3.4 years and that all of the treated patients were skeletally mature. Therefore, there is very little chance that the chronological age of the patient influenced the obtained results.

The aim of this study is mainly to evaluate if Invisalign® constitutes an adequate alternative to conventional brackets to achieve our treatment objectives in combined orthodontics and surgical cases, according to the American Board of Orthodontics (ABO) evaluation methods. The first experimental hypothesis was that Invisalign is not equivalent to

fixed appliances in combined orthodontics and orthognathic surgery cases as evaluated by the ABO. The Discrepancy Index (DI) of the ABO was used to evaluate the initial malocclusion of each patient and to assess the similarity between groups. Mean total scores were comparable in both groups, showing no statistical difference between them, although a difference was noted for two criteria. More points were scored for the Invisalign group in the anterior open bite category, but since this is a skeletal characteristic corrected by surgery, it does not affect the difficulty of the case. The “other” category evaluates any additional dental condition that was not previously evaluated by another criteria and that could influence the treatment results (congenital or iatrogenically missing teeth, midline deviation, increased curve of Spee, etc.) The control group exhibited higher scores for this criteria, which could theoretically influence the obtained results, but it must be kept in mind that the overall DI score was not affected by this difference. Furthermore, these “other” criteria are often secondary in an orthodontic case where malocclusion is corrected surgically. In short, both groups can be considered similar and are therefore suitable for comparison of the treatment efficacy between fixed conventional brackets and Invisalign®.

Final results were evaluated with the Phase III – Model Grading System (MGS) of the ABO. A significant difference was observed between the groups for total score and three categories (alignment, occlusal contact and root angulation). Invisalign® showed statistically inferior results when compared to traditional brackets. The mean final score was 41.625 (SD 12.7068) for the Invisalign® group, whereas it was 28.000 (SD 6.0139) for the control group. Therefore, the Invisalign® group showed a final score 13.625 points higher than the control group. Three previous studies exist to compare traditional orthodontics to the Invisalign® system. Djeu et al. (86) also observed a statistical difference between both groups, whereas Li et al. (102) did not find a difference in their extraction cases. The third study, by Kuncio et al., was a one-year follow-up study of the Invisalign® patients from the Djeu et al. study and does not provide additional information (103). Alignment criteria showed inferior results in the Invisalign® group ( $p=0.000$ ), with a mean of 4.205 additional points in comparison to fixed brackets. This was unexpected as Invisalign® is known to produce reliable alignment and crowding resolution movements (86,102,104–107). On the other hand, the Invisalign cases of this study had higher initial DI scores in comparison to other studies and could thus be more



difficult to treat. This could explain the added difficulty to accomplish final alignment (Table 21). The root angulation of the Invisalign® group also showed higher scores. This result was expected as it is more difficult to control root movement with clear aligners than with brackets, especially when no attachments are added to the teeth (1,6,86,88,108). The third generation of aligners allow improvement of this type of movement by adding ellipsoid precision attachments, these being able to produce couples creating root movement (108). These attachments are essential for teeth affected with unparallel roots and should be added at the refinement stage. Maxillary lateral incisors exhibited the least amount of root parallelism and proved to be the most challenging teeth to align. It is worth mentioning that the Invisalign cases within this research received treatment between 2006 and 2013. Therefore, for some of these patients the earlier generation of aligners and ClinCheck® program were used, lacking the benefit of precision attachments that have significantly improved root movement. Finally, the occlusal contact criteria showed superior scores in comparison to the control group. This was also predicted, since the creation of a posterior openbite is inherent to the Invisalign® technique. Indeed, they act as posterior biteplanes and create intrusion of posterior teeth of about 0.25 to 0.5 mm (82). An absence of contact automatically scores points in the MGS scoring system, explaining the higher score associated with Invisalign® treatment. Similar results were found in other studies (102,104).

**Table 21** Scores of Discrepancy Index of various studies for the Invisalign® group

	Mean score	Median score	Minimal score	Maximal score
<b>Current study</b>	32.542	31.5	13	62
<b>Djeu et al (2005) (86)</b>	18.67	N/A	10.25	27.09
<b>Kassas et al (2013) (104)</b>	13.03	13	10	19
<b>Li et al (2015) (102)</b>	26.54	N/D	18.96	34.12

N/A: data not available

No statistically significant difference was noted for marginal ridges alignment, buccolingual inclination, overjet, occlusal relationship and interproximal contacts. This shows

that Invisalign<sup>®</sup> produced similar results to fixed appliances in combined cases of orthodontics and orthognathic surgery for these criteria. It is not surprising that Invisalign<sup>®</sup> produced equivalent results to fixed brackets for interproximal contacts, since the technique is known to efficiently close interdental spaces up to 6.0 mm wide (1,86,102). Simon et al. (78) also demonstrated that distalization movements were highly efficient (87%) with this technique. Similar results were expected between groups for overjet correction and occlusal relationship correction, since these movements are mainly dependant on the surgical correction. For marginal ridges, the results obtained correlate with the available literature, showing that Invisalign can predictably level dental arches (86,102,104,107). Regarding buccolingual inclination, Djeu et al. (86), as well as Li et al. (102), both obtained better scores for fixed appliances, whereas Kassas et al. (104) had results similar to ours, showing no difference between the groups. The higher results obtained by the fixed appliances in these two previous studies could possibly have two explanations: firstly, by the fact that Djeu et al's study was carried out with first generation aligners and that no precision attachments were available at that time for dental and root movements, and secondly, Li et al.'s research states that the Invisalign<sup>®</sup> cases were treated by a clinician of limited experience with the technique, which could lead to poorer results.

In this study, no correlation was noted between DI pre-treatment scores and MGS post-treatment scores in any group. Therefore, the severity of the initial case did not influence the final results. This could be linked to the fact that all our malocclusions were severe enough to require a surgical intervention and the type of intraoral appliance used had no effect on the surgical movement done.

Passing score for the MGS is fixed at 27 by the American Board of Orthodontics. A case scoring higher than 30 during self-evaluation would therefore probably fail the exam, whereas a score inferior to 20 is usually a good indication with success. Scores varying between 20 and 30 are borderline and can either pass or fail the test. The failing rate of the Invisalign<sup>®</sup> group (MGS>30) was 79.2%. This is coherent with the results found in the literature by Djeu et al. (86) (79.2%) and by Kassas et al. (104) (70.9%). Li et al. (102) indicated a lower rate of 33.3%. Our control group showed a failing rate of 40%. The difference between both groups was

statistically significant ( $p=0.009$ ). 60% of the cases in the control group had a score inferior to 30, but only two cases (8%) had a score inferior to 20. This denotes the severity of the MGS as an evaluation tool.

The first experimental hypothesis is partially confirmed, since Invisalign did not provide similar results to fixed appliances for the ABO criteria of alignment, root angulation and occlusal contacts, as well as for the final score.

The second experimental hypothesis concerned treatment duration. It stipulated that Invisalign<sup>®</sup> would not produce a treatment duration equivalent to conventional fixed brackets. The pre-surgical treatment duration (T1-T2a) was indeed shorter for the Invisalign<sup>®</sup> group, with a mean time reduction of 221 days. The total treatment duration, with or without the waiting time for the surgery (T2a-T2c) was also significantly shorter for the Invisalign<sup>®</sup> group. Total treatment time was reduced by 145 days, whereas the orthodontics portion of treatment was reduced by 140 days. These results are similar to Djeu et al.'s (86), but contradict Li et al.'s findings (102). They obtained a 44% longer treatment time with Invisalign<sup>®</sup> for their extraction cases. No correlation was found between the total treatment duration of the orthodontic treatment only and DI pre-treatment scores. In conventional orthodontic treatment, one could expect that a higher initial severity of malocclusion would lead to a longer treatment duration. With orthognathic surgery, the severity of malocclusion has little impact, since it is mainly corrected by surgical movement (109). This explains the obtained results. Interestingly, whereas patients' compliance might have altered the final results as measured by the MGS, it did not seem to affect the length of treatment in this study. The second experimental hypothesis is therefore confirmed, since Invisalign<sup>®</sup> produced a shorter treatment duration when compared to fixed appliances.

## **5.6. Conclusion**

In conclusion, according to the criteria of the American Board of Orthodontics, Invisalign<sup>®</sup> does not seem to be as efficient as contemporary fixed appliances for combined surgical and orthodontics treatments. Indeed, higher scores were obtained within this research for three out of the eight criteria of the Model Grading System for the Invisalign<sup>®</sup> group, as well

as for the total final score. It is important to acknowledge that five criteria did show equivalent results when compared to fixed brackets. According to these results, alignment, occlusal contacts and root angulation need additional attention when treating ortho-surgical cases with Invisalign<sup>®</sup>. The pre-surgical treatment stage was also 221 days shorter and the total ortho-surgical treatment was 145 days shorter with Invisalign. Because of the well-known limitations of the Invisalign<sup>®</sup> system, it would be interesting to carry out a follow-up of the final occlusion of these patients. Dental settling usually occurs once the aligners are removed and the occlusal contacts probably improved.

Some limitations were present within this study. The idea of combining Invisalign and orthognathic surgery being quite recent, the number of available cases to carry out this study was limited, resulting in a small sample size. The fact that the experimental and control groups were not provided by the same orthodontist could also constitute a bias. Patient's cooperation is essential to obtain great results with the Invisalign<sup>®</sup> technology. Decreased daily wearing time of the aligners, as well as premature discontinuation of the treatment by the patient, can influence the obtained results. No data was obtained within this study concerning the wearing time of aligners, but a lower cooperation could have lead to poorer results. If patients stop wearing aligners sooner than planned, final movements cannot be accomplished. This is obviously not an issue with conventional brackets. The ABO tools are guides to help clinicians evaluate their cases. A score higher than 30 does not mean that the treatment was a failure, it mainly means that the high requirements of the ABO were not all achieved. This need to be kept in mind while analyzing the results of the present study. Lastly, it would have been interesting to evaluate if a positive correlation exists between the duration of treatment and the initial type of skeletal malocclusion. Severe class II and class III skeletal malocclusions often require a lot of decompensation and the duration of treatment could be influenced accordingly.

Further studies on surgical treatments with Invisalign<sup>®</sup> is definitely needed, since this technique represents a promising option of treatment.

## **Discussion**

## **6. Discussion**

### **6.1. Intérêt de l'étude**

La technique Invisalign<sup>®</sup> est de plus en plus prisée au sein du monde orthodontique. Elle s'est beaucoup raffinée depuis son invention et la correction de malocclusions plus complexes est désormais possible grâce aux récentes avancées technologiques de la compagnie. La plus récente revue de littérature sur l'efficacité du système Invisalign<sup>®</sup> a été publiée tout récemment par Rossini et al. en 2015 (107) et cherchait à mettre à jour les connaissances actuelles sur le sujet. Ils sont venus à la conclusion que le système Invisalign<sup>®</sup> constituait une alternative efficace au système conventionnel de boîtiers pour aligner et niveler les arcades chez des patients matures squelettiquement et que l'intrusion dentaire était également accomplie de façon comparable. Les mouvements de distalisation par translation de 1,5 mm étaient également bien accomplis. Par contre, le contrôle de l'extrusion antérieure ou de rotations était plus difficilement réalisé. Ces conclusions nous éclairent sur l'efficacité du système Invisalign<sup>®</sup> lors d'un traitement orthodontique. Par contre, aucune conclusion n'a pu être tirée par rapport aux traitements combinés d'orthodontie avec Invisalign<sup>®</sup> et de chirurgie orthognatique puisque aucune étude n'a examiné son efficacité conjointe. Nombreux sont les orthodontistes qui s'aventurent désormais sur le terrain d'un tel traitement combiné et cette recherche vient donc combler un manque flagrant dans la littérature et ainsi répondre à la question de l'efficacité d'un tel traitement.

### **6.2. Résultats**

Les résultats obtenus dénotent une différence d'âge entre le groupe contrôle et le groupe Invisalign<sup>®</sup>, celui-ci rapportant un âge moyen lors de la chirurgie légèrement plus avancé ( $p=0,018$ ). Ceci est concordant avec la littérature actuelle, qui répertorie que davantage de patients adultes recherchent des traitements orthodontiques et que ceux-ci préfèrent des options plus esthétiques (1,2,86,101). Malgré qu'elle soit statistiquement significative, la différence d'âge entre les deux groupes n'est que de 3,4 ans en réalité. Ceci risque bien peu d'avoir

influencé les résultats finaux, puisque les patients étaient tous squelettiquement et dentairement matures. L'âge chronologique des patients constitue donc un facteur de faible importance.

La première hypothèse expérimentale de cette étude était qu'Invisalign® ne constitue pas une alternative équivalente aux appareils orthodontiques fixes pour atteindre les objectifs de traitement, tel que mesuré par les méthodes d'évaluation de l'American Board of Orthodontics. Le Discrepancy Index (DI) a été calculé pour chacun des patients du groupe expérimental et du groupe contrôle. Ceci a permis d'évaluer le degré de malocclusion initiale de chaque patient et de vérifier ensuite la similarité intergroupe. Les scores moyens totaux du DI se sont avérés semblables dans les deux groupes, ne démontrant pas de différence statistiquement significative. Par contre, deux critères de l'index ont démontré une différence, soit la présence de béance antérieure et la catégorie « autre ». Davantage de points ont été comptabilisés pour la présence d'une béance antérieure au sein du groupe Invisalign®, mais la technique orthodontique impliquée ne joue pas de rôle à ce niveau puisque cette caractéristique est squelettique dans le contexte de cette recherche et sera corrigée par mouvement chirurgical. Ensuite, le critère « autre » répertorie tout autre condition dentaire du patient non évaluée préalablement par un autre critère et qui pourrait influencer le résultat du traitement, tel que les dents manquantes (iatrogéniques ou congénitales), la présence d'une ligne médiane dentaire déviée, la présence d'une courbe de Spee exagérée, etc. Le fait que le groupe contrôle présentait initialement davantage de ces conditions pourrait donc théoriquement influencer le résultat final obtenu, mais le score total de Discrepancy Index n'a pas été influencé par cette différence et ces critères sont secondaires au sein de la correction chirurgicale d'une malocclusion. Bref, les groupes peuvent être considérés similaires prétraitement et sont donc aptes à être comparés.

Les résultats finaux post-chirurgicaux ont été évalués à l'aide de l'outil Phase III – Model Grading System (MGS) de l'American Board of Orthodontics. La comparaison entre les deux groupes a démontré une différence significative pour le score total, de même que pour trois catégories (alignement, contacts occlusaux et angulation de racines). Invisalign® a donc démontré des résultats statistiquement inférieurs aux boîtiers conventionnels. Le groupe Invisalign® a obtenu un score total moyen de 41,625 (SD 12,7068), alors que le groupe contrôle démontra un score total moyen de 28,000 (SD 6,0139). Le groupe Invisalign® a donc obtenu en

moyenne 13.625 points supplémentaires. Trois études sont répertoriées dans la littérature actuelle pour la comparaison de traitements orthodontiques par boîtiers fixes versus le system Invisalign®. Djeu et al. (86) ont également rapporté une différence significative entre les groupes fixes et Invisalign®, alors que Li et al. (102) (cas d'extractions) n'ont pas notés de différence significative de score total. La troisième étude disponible, celle de Kuncio et al. (103), se veut une étude de rétention un an post-traitement des patients Invisalign® de l'étude de Djeu et al. et n'apporte donc pas de comparaison supplémentaire. Le critère d'alignement a démontré des résultats inférieurs pour le groupe Invisalign® (p=0,000), celui-ci ayant en moyenne 4,205 points supplémentaires par rapport au groupe de boîtiers fixes. Ceci n'était pas attendu, puisqu'Invisalign® est reconnu comme produisant des mouvements fiables pour l'alignement et la diminution d'irrégularité antérieure, tel que préalablement démontré par de nombreuses études (102,104–107). Par contre, les cas Invisalign® utilisés dans la présente étude démontraient des scores prétraitements plus élevés que ceux des cas utilisés dans les études citées et donc, il semble juste d'affirmer que le degré de difficulté relatif de traitement était plus élevé. Ceci pourrait expliquer la difficulté supplémentaire à compléter l'alignement (Tableau 22). Ensuite, le critère d'angulation de racine a également démontré un score plus élevé pour le groupe Invisalign®. Ce résultat était attendu, puisqu'il est beaucoup plus difficile de contrôler le mouvement de racine à l'aide des coquilles préformées en comparaison avec les boîtiers conventionnels. Ceci est d'autant plus vrai si les dents ne comportent pas d'attaches (1,6,86,88,108). La troisième génération de coquilles d'Invisalign® cherche à améliorer ce type de mouvement grâce à la présence d'attaches de précision ellipsoïdes, permettant la création de mouvement de racines par création de moments de couple (108). Il convient donc de s'assurer que des attaches soient présentes sur les dents où le parallélisme de racines n'est pas parfait lors du « refinement ». Au sein du groupe expérimental, les dents qui étaient le plus affectées par un manque de parallélisme étaient les incisives latérales supérieures. Cliniquement parlant ce sont souvent les dents qui suivent le moins bien les mouvements prescrits par le ClinCheck® et l'ajout d'attaches améliore considérablement leur mouvement. Il est important de mentionner que les cas du groupe Invisalign® ont reçu leur traitement entre 2006 et 2013. Ainsi, les plus récentes technologies pour l'alignement radiculaire et les nouvelles fonctions du programme ClinCheck® n'étaient pas encore disponibles. Finalement, le critère des contacts occlusaux a aussi démontré



un score supérieur au groupe contrôle. Ceci était également attendu, puisque les coquilles agissent comme des plans occlusaux postérieurs intrudant les dents d'environ 0,25 à 0,5 mm (82). La présence d'un tel manque de contacts occlusaux est inhérent à la technique et des résultats similaires ont été obtenus au sein d'autres études (86,102,104).

**Tableau 22** Scores du Discrepancy Index de différentes études pour le groupe Invisalign®

	Score moyen	Score médian	Score minimum	Score maximum
<b>Présente étude</b>	32,542	31,5	13	62
<b>Djeu et al (2005) (86)</b>	18,67	N/D	10,25	27,09
<b>Kassas et al (2013) (104)</b>	13,03	13	10	19
<b>Li et al (2015) (102)</b>	26,54	N/D	18,96	34,12

N/D : donnée non-disponible

Il est important de noter qu'aucune différence statistiquement significative n'a été répertoriée pour cinq critères du MGS, démontrant qu'Invisalign® a su produire des résultats comparables aux boîtiers conventionnels lors de cas combinés d'orthodontie et de chirurgie orthognatique. Ces critères sont les crêtes marginales, l'inclinaison bucco-linguale, le surplomb horizontal, la relation occlusale et les contacts interproximaux. C'est sans surprise que le système Invisalign® a su produire d'aussi bons résultats que les boîtiers pour l'obtention de contacts interproximaux, puisque cette technique est reconnue pour pouvoir fermer des espaces interdentaires de façon efficace jusqu'à 6,0mm (1,86,102). Simon et al. (78) ont bien démontré que des mouvements de type distalisation se réalisaient avec une efficacité de 87%. Des résultats similaires entre les deux groupes étaient aussi attendus pour la correction du surplomb, de même que pour la relation occlusale, puisque ceux-ci dépendent en grande partie du mouvement chirurgical. Pour ce qui est des crêtes marginales, nos résultats sont également en accord avec la littérature disponible, démontrant qu'Invisalign® peut efficacement niveler les arcades dentaires (86,102,104,107). Par contre, pour l'inclinaison bucco-linguale, Djeu et al. (86), de même que Li et al. (102), ont rapporté de meilleurs scores pour le groupe de boîtiers fixes. Par contre, Kassas et al. (104) ont obtenus des résultats similaires aux nôtres, ne démontrant pas de

différence significative entre les deux groupes pour l'inclinaison bucco-linguale. Les résultats supérieurs obtenus pour les boîtiers fixes au sein de ces études pourraient possiblement s'expliquer par deux raisons. L'étude de Djeu et al. (86) date de 2005 et la première génération des coquilles Invisalign® fût donc utilisée pour accomplir les traitements. Les attaches utilisées à l'époque étaient moins efficaces pour le contrôle des mouvements radiculaires. Pour ce qui est de l'étude de Li et al.(102), le clinicien ayant réalisé les cas Invisalign® avait une expérience limitée dans le domaine, tel que mentionné dans le texte, et cela peut possiblement avoir joué un rôle dans l'obtention de résultats moins concluants.

Au sein de cette étude, aucune corrélation n'a été observée entre les scores prétraitements de Discrepancy Index et les scores post-traitements de Model Grading System pour aucun des deux groupes. Ainsi, aucun critère d'évaluation de la sévérité du cas initial n'a semblé avoir d'influence sur les résultats finaux obtenus. Ceci pourrait être attribué au fait que les cas inclus dans cette recherche comportaient tous des malocclusions initiales suffisamment sévères pour nécessiter une correction chirurgicale et le type d'appareillage intra-oral utilisé n'a pas d'influence sur le mouvement chirurgical réalisé.

Le score de passage pour le Model Grading System est fixé à 27 par l'American Board of Orthodontics. Donc, un cas qui obtiendrait un score au-delà de 30 lors de l'auto-évaluation échouerait probablement l'examen, alors qu'un score inférieur à 20 serait synonyme de réussite. Les scores entre 20 et 30 sont considérés limites et peuvent réussir ou échouer le test. Le taux d'échec du groupe Invisalign® (score supérieur à 30) était de 79,2%, ce qui est assez cohérent avec les résultats de Djeu et al. (86) (79,2%) et de Kassas et al. (104) (70,9%). Li et al. (102) ont obtenus un taux plus bas de 33,3%. Le groupe contrôle a obtenu quant à lui un taux d'échec de 40% et la différence entre les deux groupes étaient donc statistiquement significative. Des 60% de cas de boîtiers fixes avec un score inférieur à 30, seulement deux cas (8%) ont en fait un score inférieur à 20, synonyme de réussite probable. (Tableau 17) Ceci démontre bien la sévérité de cet outil de l'American Board of Orthodontics pour l'évaluation des cas finaux.

La première hypothèse de recherche de cette étude est donc partiellement confirmée, puisque le système Invisalign® n'a pas démontré des résultats équivalents à la technique

conventionnelle de boîtiers fixes pour l'alignement, les contacts occlusaux et l'angulation des racines, de même que pour le score final du MGS de l'American Board of Orthodontics.

La seconde hypothèse expérimentale de cette étude concernait la durée de traitement. Elle stipulait que le système Invisalign<sup>®</sup> ne produirait pas un temps de traitement total équivalent au traitement conventionnel. Le temps de traitement pré-chirurgical (T1-T2a) était significativement plus court pour le groupe Invisalign<sup>®</sup>, avec une réduction moyenne d'environ 221 jours. Le temps de traitement total, en retirant ou non le temps d'attente de la chirurgie orthognatique (T2a-T2c) était aussi significativement plus court pour le groupe Invisalign<sup>®</sup>. Il y a eu une réduction moyenne de 145 jours de traitement total et de 140 jours pour l'orthodontie seule. Ces résultats sont cohérents avec ce qui a été retrouvé dans l'étude de Djeu et al. (86) Par contre, Li et al. (102) ont obtenu des durées de traitement 44% plus longues pour le groupe Invisalign<sup>®</sup> pour leur cas d'extractions, ce qui est un facteur reconnu pour augmenter le temps de traitement (110). Aucune corrélation statistiquement significative n'a été observée entre la durée de traitement orthodontique totale et le score prétraitement de Discrepancy Index au sein des deux groupes. Dans un traitement orthodontique, il serait attendu que la présence d'une grande sévérité initiale de la malocclusion entraîne une durée de traitement plus longue. Par contre, en présence d'une chirurgie orthognatique, la sévérité de la malocclusion a peu d'influence, puisque celle-ci est corrigée majoritairement par mouvement chirurgical (109). Ceci expliquerait donc les résultats obtenus. La coopération du patient vis-à-vis le port des coquilles ne semble pas avoir affecté la durée de traitement total, bien que ce manque de coopération puisse avoir influencé les résultats finaux obtenus. Notre deuxième hypothèse de recherche est donc confirmée, puisqu'Invisalign<sup>®</sup> a su produire une durée de traitement plus courte que les boîtiers fixes.

### **6.3. Limitations de l'étude**

La présente étude cherchait à comparer les résultats obtenus et la durée de traitement lors de la combinaison de traitement orthodontique et de chirurgie orthognatique pour Invisalign<sup>®</sup> et pour les boîtiers conventionnels. L'idée d'associer la technologie Invisalign<sup>®</sup> à la chirurgie

orthognatique étant assez récente, nous avons été limités au sein de cette étude par le nombre de patients disponibles pour y participer. En effet, peu d'orthodontistes combinent à ce jour les deux techniques et notre groupe expérimental provenait donc exclusivement d'un orthodontiste pratiquant à Vancouver (Colombie-Britannique, Canada). Celui-ci réservant presque entièrement sa pratique à la technique Invisalign<sup>®</sup>, il était ensuite difficile de constituer un groupe contrôle avec boîtiers fixes au sein de ses patients. Ainsi, nous avons fait appel à un autre orthodontiste pratiquant à Chicoutimi (Québec, Canada), gradué de la même cohorte et du même programme universitaire afin de constituer le groupe contrôle. Bien que les deux orthodontistes ont suivi la même formation à la même université, il convient que leur philosophie de traitement puisse être différente et que ceci ait pu jouer un rôle sur les résultats obtenus.

La compagnie Align Technology cherche constamment à parfaire sa technique pour améliorer les mouvements dentaires obtenus, par exemple grâce à l'ajout d'un couple d'attaches optimisées pour les mouvements de racine, l'ajout de « power ridges » pour contrôler le torque, la technologie G5 cherchant à corriger les occlusions fermées ou la technologie G6 pour améliorer les fermetures d'espaces, pour n'en nommer que quelques-uns. Il n'en demeure pas moins que la technique Invisalign<sup>®</sup> comporte quelques lacunes, tel que discuté précédemment. En effet, la présence d'une occlusion ouverte postérieurement à la fin du traitement est courante, puisque les coquilles d'alignement agissent comme un plan de disclusion, intrudant légèrement les dents postérieures (de l'épaisseur de l'acrylique, soit d'environ 0,25 à 0,5 mm) (82). Une solution proposée par Phan et al. est de découper les coquilles aux distal des canines en fin de traitement pour permettre l'assise postérieure des dents, tout en maintenant l'alignement antérieur.

Ensuite, il est certain que la technique Invisalign<sup>®</sup> repose sur la coopération du patient, puisqu'il s'agit d'un appareil amovible. Ceci n'était pas le cas pour le groupe contrôle en boîtiers fixes. Le bon port des coquilles Invisalign<sup>®</sup> est indispensable pour obtenir les résultats prévus via le ClinCheck<sup>®</sup> et si ce port est inférieur aux 22 heures recommandées par la compagnie, il peut y avoir une influence négative sur les résultats obtenus. Aucune donnée n'a été recueillie vis-à-vis les heures de port des coquilles pour le groupe Invisalign<sup>®</sup>, mais une coopération moins accrue de certains patients pourrait expliquer des scores plus élevés retrouvés au sein du groupe

expérimental. Finalement, si le patient cesse de porter les coquilles plus tôt que prévu, les mouvements de finition peuvent ne pas être accomplis. Ceci n'est pas un problème avec les boîtiers fixes, puisque le traitement se poursuit jusqu'à la dépose des broches.

En dernier lieu, les outils d'évaluation des cas de l'American Board of Orthodontics sont mis à la disposition des orthodontistes pour trier leur cas avant de les présenter devant le comité d'évaluation. Les scores obtenus à l'aide du MGS se veulent un guide pour aider le clinicien à évaluer si son cas passerait ou non les critères établis par l'ABO. Un score final plus élevé que la limite préétablie de 30 ne signifie pas pour autant que le traitement est un échec. Au contraire, cela signifie simplement que le cas n'aurait peut-être pas passé les critères de succès sévères établis par l'ABO. Ceci doit donc être pris en considération lors de l'analyse des résultats obtenus au sein de cette étude.

## **Conclusion**

## 7. Conclusion

En conclusion, selon les critères de l’American Board Orthodontics, la technique Invisalign® ne s’avère pas être une option aussi efficace que les boîtiers fixes pour le traitement conjoint d’orthodontie et de chirurgie orthognatique. En effet, des scores plus élevés ont été retrouvés pour trois des huit critères évalués par le Model Grading System (Phase III), de même que pour le score final obtenu. Cinq critères ont toutefois démontré des résultats équivalents aux boîtiers fixes. Notre hypothèse de recherche principale est donc partiellement confirmée. Selon cette étude rétrospective, l’alignement, les contacts occlusaux et l’angulation de racines nécessitent davantage d’attention lors du traitement afin de produire des résultats similaires aux boîtiers conventionnels.

Par contre, selon nos résultats, la technique Invisalign® produit des traitements plus rapides que les boîtiers fixes contemporains, avec une réduction moyenne du temps de traitement orthodontique total de 140 jours. La phase de traitement pré-chirurgicale est également plus rapide, avec une réduction moyenne de 221 jours et le traitement ortho-chirurgical complet a démontré une réduction moyenne de 145 jours avec Invisalign®. La seconde hypothèse de recherche est donc infirmée, puisque la technique Invisalign® s’est avérée plus rapide que la technique de boîtiers conventionnels pour le traitement des cas combinés d’orthodontie et de chirurgie orthognatique.

Compte tenu des limitations du système Invisalign®, il serait intéressant d’observer si une amélioration des scores post-traitement serait obtenue en analysant l’occlusion des patients quelques temps après la dépose des coquilles. Ainsi, la cause principale de points supplémentaires, c’est-à-dire la présence de la béance postérieure due à l’épaisseur des coquilles, aura probablement eu le temps de s’amenuiser par assise naturelle des dents. Il aurait également pu être intéressant de vérifier si une corrélation existe entre le type initial de malocclusion squelettique et la durée totale du traitement. Les malocclusions plus sévères nécessitent souvent une plus grande décompensation et ceci pourrait affecter négativement la durée du traitement. Davantage de recherches sur l’association de la technique Invisalign® avec la chirurgie orthognatique est essentiel, idéalement en favorisant des études prospectives où les patients seraient randomisés dans l’un des deux groupes. Cette association novatrice pourrait

être davantage développée et ainsi servir à de nombreux patients qui désirent remédier à leur malocclusion squelettique tout en ayant accès à une option esthétique de traitement.



## 8. Bibliographie

1. Proffit WR. Contemporary orthodontics. St. Louis, Mo.: Elsevier Mosby; 2012.
2. Shalish M, Cooper-Kazaz R, Ivgi I, Canetti L, Tsur B, Bachar E, et al. Adult patients' adjustability to orthodontic appliances. Part I: a comparison between Labial, Lingual, and Invisalign. *Eur J Orthod*. 2012 Dec 1;34(6):724–30.
3. Burstone CJ, Liebler SAH, Goldberg AJ. Polyphenylene polymers as esthetic orthodontic archwires. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. 2011 Apr;139(4 Suppl):e391–8.
4. Kesling H. The philosophy of the tooth positioning appliance. *Am J Orthod Oral Surg*. 1945;31(6):297–304.
5. Wong BH. Invisalign A to Z. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2002;121(5):540–1.
6. Graber LW, Vanarsdall RL, Vig KWL. Orthodontics current principles and techniques [Internet]. Philadelphia, PA: Elsevier/Mosby; 2012 [cited 2014 Jul 2]. Available from: <http://site.ebrary.com/id/10510892>
7. Bishara SE. Class II Malocclusions: Diagnostic and Clinical Considerations With and Without Treatment. *Cl II Growth Modif Perspect*. 2006 Mar;12(1):11–24.
8. Andrews LF. The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod*. 1972;62(3):296–309.
9. Bishara SE, editor. Textbook of orthodontics. Philadelphia, Pa: Saunders; 2001. 592 p.
10. Sassouni V. A classification of skeletal facial types. *Am J Orthod*. 1969 Feb 1;55(2):109–23.
11. Lavern Merrifield L. Differential diagnosis. *Tweed Philos*. 1996 Dec;2(4):241–53.
12. Boileau M-JCP. Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte. Tome 2, Traitement des dysmorphies et malocclusions. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2012.
13. Schudy FF. Vertical Growth Versus Anteroposterior Growth As Related To Function And Treatment. *Angle Orthod*. 1964 Apr 1;34(2):75–93.
14. Collett AR, West VC. Terminology of facial morphology in the vertical dimension. *Aust Dent J*. 1993;38(3):204–9.
15. Schendel SA, Eisenfeld J, Bell WH, Epker BN, Mishelevich DJ. The long face syndrome: Vertical maxillary excess. *Am J Orthod*. 70(4):398–408.
16. Opdebeeck H, Bell WH. The short face syndrome. *Am J Orthod*. 1978 May;73(5).

17. Trotzman A, Elsbach HG. Comparison of malocclusion in preschool black and white children. *J Orthod.* 1996 Jul;110(1):69–72.
18. Perinetti G, Cordella C, Pellegrini F, Esposito P. The prevalence of malocclusal traits and their correlations in mixed dentition children: results from the Italian OHSAR Survey. *Oral Health Prev Dent.* 2008;6(2):119–29.
19. Manzanera D, Montiel-Company JM, Almerich-Silla JM, Gandía JL. Orthodontic treatment need in Spanish schoolchildren: an epidemiological study using the Index of Orthodontic Treatment Need. *Eur J Orthod.* 2009 Apr;31(2):180–3.
20. Ciuffolo F, Manzoli L, D’Attilio M, Tecco S, Muratore F, Festa F, et al. Prevalence and distribution by gender of occlusal characteristics in a sample of Italian secondary school students: a cross-sectional study. *Eur J Orthod.* 2005 Dec;27(6):601–6.
21. Bock JJ, Czarnota J, Hirsch C, Fuhrmann R. Orthodontic treatment need in a representative adult cohort. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie OrganOfficial J Dtsch Ges Für Kieferorthopädie.* 2011 Nov;72(6):421–33.
22. Grando G, Young A a. A, Vedovello Filho M, Vedovello S a. S, Ramirez-Yañez GO. Prevalence of malocclusions in a young Brazilian population. *Int J Orthod Milwaukee Wis.* 2008;19(2):13–6.
23. Lew KK, Foong WC, Loh E. Malocclusion prevalence in an ethnic Chinese population. *Aust Dent J.* 1993 Dec;38(6):442–9.
24. Bailey LJ, Proffit WR, White Jr R. Assessment of patients for orthognathic surgery. *Curr Philos Orthognath Surg.* 1999 Dec;5(4):209–22.
25. Ackerman JL, Proffit WR. Soft tissue limitations in orthodontics: Treatment planning guidelines. *Angle Orthod.* 1997 Oct 1;67(5):327–36.
26. Tucker MR. Orthognathic surgery versus orthodontic camouflage in the treatment of mandibular deficiency. [Review] [16 refs]. *J Oral.* 1995 May;53(5):572–8.
27. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara JA. Treatment Timing for Rapid Maxillary Expansion. *Angle Orthod.* 2001 Oct 1;71(5):343–50.
28. Luther F, Morris DO, Hart C. Orthodontic preparation for orthognathic surgery: how long does it take and why? A retrospective study. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2003;41(6):401–6.
29. Proffit WR, White RP, Sarver, David M. Contemporary treatment of dentofacial deformity. St. Louis, Mo.: Mosby; 2003.

30. Steinhäuser EW. Historical development of orthognathic surgery. *J Cranio-Maxillofac Surg.* 1996 Aug;24(4):195–204.
31. Reyneke JP. *Essentials of orthognathic surgery.* 2nd ed. Hanover Park, IL: Quintessence Pub; 2010. 272 p.
32. Hammoudeh JA, Howell LK, Boutros S, Scott MA, Urata MM. Current Status of Surgical Planning for Orthognathic Surgery: Traditional Methods versus 3D Surgical Planning. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2015 Feb;3(2):e307.
33. Baker SB, Goldstein JA, Seruya M. Outcomes in computer-assisted surgical simulation for orthognathic surgery. *J Craniofac Surg.* 2012 Mar;23(2):509–13.
34. Trovik TA, Wisth PJ, Tornes K, Bøe OE, Moen K. Patients' perceptions of improvements after bilateral sagittal split osteotomy advancement surgery: 10 to 14 years of follow-up. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2012 Feb;141(2):204–12.
35. Oland J, Jensen J, Elklit A, Melsen B. Motives for surgical-orthodontic treatment and effect of treatment on psychosocial well-being and satisfaction: a prospective study of 118 patients. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2011 Jan;69(1):104–13.
36. Espeland L, Hogevoid HE, Stenvik A. A 3-year patient-centred follow-up of 516 consecutively treated orthognathic surgery patients. *J Orthod.* 2008 Feb;30(1):24–30.
37. Williams AC, Shah H, Sandy JR, Travess HC. Patients' motivations for treatment and their experiences of orthodontic preparation for orthognathic surgery. *J Orthod.* 2005 Sep;32(3):191–202.
38. Rivera SM, Hatch JP, Dolce C, Bays RA, Van Sickels JE, Rugh JD. Patients' own reasons and patient-perceived recommendations for orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2000 Aug;118(2):134–41.
39. Nurminen L, Pietilä T, Vinkka-Puhakka H. Motivation for and satisfaction with orthodontic-surgical treatment: a retrospective study of 28 patients. *Eur J Orthod.* 1999;21(1):79–87.
40. Phillips C, Broder HL, Bennett ME. Dentofacial disharmony: motivations for seeking treatment. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1997;12(1):7–15.
41. Flanary CM, Barnwell GM, Alexander JM. Patient perceptions of orthognathic surgery. *Am J Orthod.* 1985 Aug;88(2):137–45.

42. Miloro M, Ghali GE, Larsen PE, Waite P, editors. Peterson's principles of oral and maxillofacial surgery. 2nd ed. Hamilton, Ont. ; London: B C Decker; 2004. 2 p.
43. Joss CU, Joss-Vassalli IM, Bergé SJ, Kuijpers-Jagtman AM. Soft Tissue Profile Changes After Bilateral Sagittal Split Osteotomy for Mandibular Setback: A Systematic Review. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010 Nov;68(11):2792–801.
44. Hack GA, de Mol van Otterloo JJ, Nanda R. Long-term stability and prediction of soft tissue changes after LeFort I surgery. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 1993 Dec;104(6):544–55.
45. Jensen AC, Sinclair PM, Wolford LM. Soft tissue changes associated with double jaw surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;101(3):266–75.
46. Dolce C, Van Sickels JE, Bays RA, Rugh JD. Skeletal stability after mandibular advancement with rigid versus wire fixation. *J Oral Maxillofac Surg.* 2000 Nov;58(11):1219–27.
47. Keeling SD, Dolce C, Van Sickels JE, Bays RA, Clark GM, Rugh JD. A comparative study of skeletal and dental stability between rigid and wire fixation for mandibular advancement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000 Jun;117(6):638–49.
48. Iannetti GM. Our experience in complications of orthognathic surgery: a retrospective study on 3236 patients. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2013;17(3):379–84.
49. Wolford LM. The sagittal split ramus osteotomy as the preferred treatment for mandibular prognathism. *J Oral Maxillofac Surg.* 2000 Mar;58(3):310–2.
50. Reyneke JP, Tsakiris P, Becker P. Age as a factor in the complication rate after removal of unerupted/impacted third molars at the time of mandibular sagittal split osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg.* 2002 Jun;60(6):654–9.
51. Mehra P, Castro V, Freitas RZ, Wolford LM. Complications of the mandibular sagittal split ramus osteotomy associated with the presence or absence of third molars. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* 2001 Aug;59(8):854–8; discussion 859.
52. Colella G, Giudice A. The timing of third molar removal in patients undergoing a bilateral sagittal split osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg.* 2003 Aug;61(8):975.
53. Verweij JP, Mensink G, Fiocco M, van Merkesteyn JPR. Presence of mandibular third molars during bilateral sagittal split osteotomy increases the possibility of bad split but not the risk of other post-operative complications. *J Cranio-Maxillo-fac Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-fac Surg.* 2014 Apr 4;

54. Precious DS, Lung KE, Pynn BR, Goodday RH. Presence of impacted teeth as a determining factor of unfavorable splits in 1256 sagittal-split osteotomies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 1998 Apr;85(4):362–5.
55. Kriwalsky MS, Maurer P, Veras RB, Eckert AW, Schubert J. Risk factors for a bad split during sagittal split osteotomy. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2008 Apr;46(3):177–9.
56. Ghali GE, Sikes JW. Intraoral vertical ramus osteotomy as the preferred treatment for mandibular prognathism. *J Oral Maxillofac Surg*. 2000 Mar;58(3):313–5.
57. Byloff FK, Mossaz CF. Skeletal and dental changes following surgically assisted rapid palatal expansion. *Eur J Orthod*. 2004 Aug;26(4):403–9.
58. Chamberland S, Proffit WR. Closer Look at the Stability of Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion. *J Oral Maxillofac Surg*. 2008 Sep;66(9):1895–900.
59. Landes CA, Laudemann K, Schübel F, Petruchin O, Mack M, Kopp S, et al. Comparison of Tooth- and Bone-Borne Devices in Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion by Three-Dimensional Computed Tomography Monitoring: Transverse Dental and Skeletal Maxillary Expansion, Segmental Inclination, Dental Tipping, and Vestibular Bone Resorption. *J Craniofac Surg*. 2009 Jul;20(4):1132–41.
60. Van Sickels JE, Richardson DA. Stability of orthognathic surgery: a review of rigid fixation. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 1996 Aug;34(4):279–85.
61. Watzke IM, Turvey TA, Phillips C, Proffit WR. Stability of mandibular advancement after sagittal osteotomy with screw or wire fixation: a comparative study. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. 1990 Feb;48(2):108–21; discussion 122–3.
62. Bailey L 'Tany. J, Cevidanes LHS, Proffit WR. Stability and predictability of orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2004 Sep;126(3):273–7.
63. Bailey L 'Tany. J, Cevidanes LHS, Proffit WR. Stability and predictability of orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2004 Sep;126(3):273–7.
64. Franco AA, Cevidanes LHS, Phillips C, Rossouw PE, Turvey TA, Carvalho F de AR, et al. Long-term 3-dimensional stability of mandibular advancement surgery. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2013 Sep;71(9):1588–97.
65. Reyneke JP, Ferretti C. Intraoperative diagnosis of condylar sag after bilateral sagittal split ramus osteotomy. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2002 Aug;40(4):285–92.
66. Panula K, Finne K, Oikarinen K. Incidence of complications and problems related to orthognathic surgery: A review of 655 patients. *J Oral Maxillofac Surg*. 2001 Oct;59(10):1128–36.

67. Kim S-G, Park S-S. Incidence of Complications and Problems Related to Orthognathic Surgery. *J Oral Maxillofac Surg*. 2007 Dec;65(12):2438–44.
68. Sousa CS, Turrini RNT. Complications in orthognathic surgery: A comprehensive review. *J Oral Maxillofac Surg Med Pathol*. 2012 May;24(2):67–74.
69. Miloro M. Trigeminal nerve injuries [Internet]. Berlin; New York: Springer; 2013 [cited 2016 Apr 18]. Available from: <http://site.ebrary.com/id/10703913>
70. Seddon HJ. Three Types of Nerve Injury. *Brain*. 1943;66(4):237–88.
71. Chow LK, Singh B, Chiu WK, Samman N. Prevalence of Postoperative Complications After Orthognathic Surgery: A 15-Year Review. *J Oral Maxillofac Surg*. 2007 May;65(5):984–92.
72. Van de Perre JPA, Stoelinga PJW, Blijdorp PA, Brouns JJA, Hoppenreijts TJM. Perioperative morbidity in maxillofacial orthopaedic surgery: a retrospective study. *J Cranio-Maxillofac Surg*. 1996 Oct;24(5):263–70.
73. Iannetti G, Fadda MT, Marianetti TM, Terenzi V, Cassoni A. Long-term skeletal stability after surgical correction in Class III open-bite patients: a retrospective study on 40 patients treated with mono- or bimaxillary surgery. *J Craniofac Surg*. 2007 Mar;18(2):350–4.
74. Align Technology. Home [Internet]. Align Technology Inc. 2014 [cited 2014 Jul 6]. Available from: <http://www.aligntech.com/home>
75. Align Technology. Corporate Fact Sheet [Internet]. 2014 [cited 2014 Jul 6]. Available from: [http://www.aligntech.com/documents/Align%20Technology%20Corp%20Fact%20Sheet%202014%20Q1\\_F.pdf](http://www.aligntech.com/documents/Align%20Technology%20Corp%20Fact%20Sheet%202014%20Q1_F.pdf)
76. Align Technology. Invisalign G5 : Innovations for Deep Bite [Internet]. 2014 [cited 2014 Jul 6]. Available from: [http://www.aligntech.com/documents/Invisalign\\_G5\\_Brochure.pdf](http://www.aligntech.com/documents/Invisalign_G5_Brochure.pdf)
77. Align Technology. Invisalign G6 - Invisalign - Discover New Possibilities [Internet]. [cited 2015 Dec 11]. Available from: <http://invisalign-g6.com/en-GB/firstpremolarextraction.aspx>
78. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique - regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health*. 2014;14:68.
79. Lagravere MO, Flores-Mir C. The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners: A systematic review. *J Am Dent Assoc*. 2005 Dec 1;136(12):1724–9.

80. Align Technology. Resources to help you achieve excellent clinical outcomes [Internet]. Align Technology Inc. 2014 [cited 2014 Jul 6]. Available from: <https://learn.invisalign.com/>
81. Joffe L. Invisalign: early experiences. *J Orthod*. 2003 Dec;30(4):348–52.
82. Phan X, Ling PH. Clinical limitations of Invisalign. *J Can Dent Assoc*. 2007 Apr;73(3):263–6.
83. Align Technology. ClinCheck Pro with 3D Controls. More precise control to help you achieve your treatment goals. [Internet]. 2014 [cited 2014 Jul 7]. Available from: [https://s3.amazonaws.com/learn-invisalign/docs/CCPro\\_GSG%20FINAL.pdf](https://s3.amazonaws.com/learn-invisalign/docs/CCPro_GSG%20FINAL.pdf)
84. Align Technology. Attachment Protocol Summary [Internet]. 2013 [cited 2014 Jul 7]. Available from: <https://s3.amazonaws.com/learn-invisalign/docs/0684000000G2MpAAK.pdf>
85. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009 Jan;135(1):27–35.
86. Djeu G, Shelton C, Maganzini A. Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2005 Sep;128(3):292–8.
87. Nguyen C, Chen J. Chapter 14. In: *The Invisalign System*. London: Quintessence Publ; 2006. p. 12–32.
88. Pavoni C. Self-ligating versus Invisalign: analysis of dento-alveolar effects. *Ann Stomatol (Roma)*. 2011;2(1-2):23–7.
89. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: Incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. 2014 Jun;145(6):728–36.
90. Brezniak N. The clear plastic appliance: a biomechanical point of view. *Angle Orthod*. 2008 Mar;78(2):381–2.
91. Bouchez R. *Les traitements orthodontiques invisalign®*. paris: Quintessence international; 2009.
92. Boyd RL. Surgical-orthodontic treatment of two skeletal Class III patients with Invisalign and fixed appliances. *J Clin Orthod JCO*. 2005 Apr;39(4):245–58.

93. Womack WR, Day RH. Surgical-orthodontic treatment using the Invisalign system. *J Clin Orthod JCO*. 2008 Apr;42(4):237–45.
94. Marcuzzi E, Galassini G, Procopio O, Castaldo A, Contardo L. Surgical-Invisalign treatment of a patient with Class III malocclusion and multiple missing teeth. *J Clin Orthod JCO*. 2010 Jun;44(6):377–84.
95. The American Board of Orthodontics. About the ABO [Internet]. The American Board of Orthodontics. [cited 2014 Jul 8]. Available from: <http://www.americanboardortho.com/about/>
96. The American Board of Orthodontics. Examination Process - Types of Clinical Examinations [Internet]. The American Board of Orthodontics. [cited 2014 Jul 8]. Available from: <http://www.americanboardortho.com/professionals/clinicalexam/examprocess2.aspx>
97. Zilberman O, Huggare JAV, Parikakis KA. Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. *Angle Orthod*. 2003 Jun;73(3):301–6.
98. Costalos PA, Sarraf K, Cangialosi TJ, Efstratiadis S. Evaluation of the accuracy of digital model analysis for the American Board of Orthodontics objective grading system for dental casts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2005 Nov;128(5):624–9.
99. Hildebrand JC, Palomo JM, Palomo L, Sivik M, Hans M. Evaluation of a software program for applying the American Board of Orthodontics objective grading system to digital casts. *J Orthod*. 2008 Feb;133(2):283–9.
100. Fleming P, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review: Digital models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res*. 2011 Feb;14(1):1–16.
101. Rosvall MD, Fields HW, Ziuchkovski J, Rosenstiel SF, Johnston WM. Attractiveness, acceptability, and value of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009 Mar;135(3):276.e1–276.e12.
102. Li W, Wang S, Zhang Y. The effectiveness of the Invisalign appliance in extraction cases using the the ABO model grading system: a multicenter randomized controlled trial. *Int J Clin Exp Med*. 2015;8(5):8276–82.
103. Kuncio D, Maganzini A, Shelton C, Freeman K. Invisalign and Traditional Orthodontic Treatment Postretention Outcomes Compared Using the American Board of Orthodontics Objective Grading System. *Angle Orthod*. 2007 Sep 1;77(5):864–9.



104. Kassas W, Al-Jewair T, Preston CB, Tabbaa S. Assessment of Invisalign treatment outcomes using the ABO Model Grading System. *J World Fed Orthod.* 2013 Jun;2(2):e61–4.
105. Clements KM, Bollen A-M, 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 Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* 2003 Nov;124(5):502–8.
106. Krieger E, Seiferth J, Marinello I, Jung BA, Wriedt S, Jacobs C, et al. Invisalign® treatment in the anterior region: were the predicted tooth movements achieved? *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie OrganOfficial J Dtsch Ges Für Kieferorthopädie.* 2012 Sep;73(5):365–76.
107. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *Angle Orthod.* 2015 Sep;85(5):881–9.
108. Hennessy J, Al-Awadhi E. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. *J Orthod.* 2015 May 4;1465313315Y0000000004.
109. Häll B, Jämsä T, Soukka T, Peltomäki T. Duration of surgical-orthodontic treatment. *Acta Odontol.* 2008;66(5):274–7.
110. Mavreas D, Athanasiou AE. Factors affecting the duration of orthodontic treatment: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2008;30(4):386–95.

# 9. Annexes

## Annexe 1 : Formulaire du Discrepancy Index de l'ABO

EXAM YEAR _____	ABO DISCREPANCY INDEX	
ABO ID # _____	CASE# _____	PATIENT _____
<b>TOTAL D.I. SCORE</b>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<i>For mm measures, round up to the next full mm. Examiners will verify measurements in each category.</i>
<b>OVERJET</b>		
≥ 0 to < 1 mm (edge-to-edge)	= 1 pt	
≥ 1 to ≤ 3 mm	= 0 pts	
> 3 to ≤ 5 mm	= 2 pts	
> 5 to ≤ 7 mm	= 3 pts	
> 7 to ≤ 9 mm	= 4 pts	
> 9 mm	= 5 pts	
Negative Overjet (x-bite): 1 pt per mm per tooth	= ___pts	
Total	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	
<b>OVERBITE</b>		
> 1 to ≤ 3 mm	= 0 pts	
> 3 to ≤ 5 mm	= 2 pts	
> 5 to ≤ 7 mm	= 3 pts	
Impinging (100%)	= 5 pts	
Total	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	
<b>ANTERIOR OPEN BITE</b>		
0 mm (edge-to-edge), 1 pt per tooth	= ___pts	
then 1 pt per mm per tooth	= ___pts	
Total	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	
<b>LATERAL OPEN BITE</b>		
≥ 0.5 mm, 2 pts per mm per tooth		
Total	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	
<b>CROWDING</b> (only one arch)		
≥ 0 to ≤ 1 mm	= 0 pts	
> 1 to ≤ 3 mm	= 1 pts	
> 3 to ≤ 5 mm	= 2 pts	
> 5 to ≤ 7 mm	= 4 pts	
> 7 mm	= 7 pts	
Total	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	
<b>OCCCLUSAL RELATIONSHIP</b>		
Class I to End On	= 0 pts	
End-to-End Class II or III	= 2 pts per side	___pts
Full Class II or III	= 4 pts per side	___pts
Beyond Class II or III	= 1 pt per mm additional	___pts
Total	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	
<b>LINGUAL POSTERIOR X-BITE</b>		
> 0 mm, 1 pt per tooth		Total <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
<b>BUCCAL POSTERIOR X-BITE</b>		
> 0 mm, 2 pts per tooth		Total <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
<b>CEPHALOMETRICS</b> (See Instructions)		
ANB ≥ 6° or ≤ -2°	@4pts	= ___
Each full degree > 6°	___x 1 pt	= ___
Each full degree < -2°	___x 1 pt	= ___
SN-MP		
≥ 38°	@2pts	= ___
Each full degree > 38°	___x 2 pts	= ___
≤ 26°	@1pt	= ___
Each full degree < 26°	___x 1 pt	= ___
I to MP ≥ 99°	@1pt	= ___
Each full degree > 99°	___x 1 pt	= ___
Total		<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
<b>OTHER</b> (See Instructions)		
Supernumerary teeth	___x 1 pt	= ___
Ankylosis of permanent teeth	___x 2 pts	= ___
Anomalous morphology	___x 2 pts	= ___
Impaction (except 3rd molars)	___x 2 pts	= ___
Midline discrepancy (≥3 mm)	@ 2 pts	= ___
Missing teeth (except 3rd molars)	___x 1 pt	= ___
Missing teeth, congenital	___x 2 pts	= ___
Spacing (4 or more, per arch)	___x 2 pts	= ___
Spacing (mx cent diastema ≥ 2 mm)	@ 2 pts	= ___
Tooth transposition	___x 2 pts	= ___
Skeletal asymmetry(nonsurgical tx)	@ 3 pts	= ___
Addl. treatment complexities	___x 2 pts	= ___
Identify:		
Total Other		<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>

30130315

## Annexe 2 : Formulaire du Cast - Radiograph Evaluation form de l'ABO

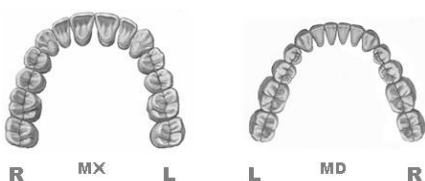
4-12-2010 for print use only.  
For electronic submission requirement –  
use ABO Case Report Work File (pdf).

### ABO Cast-Radiograph Evaluation

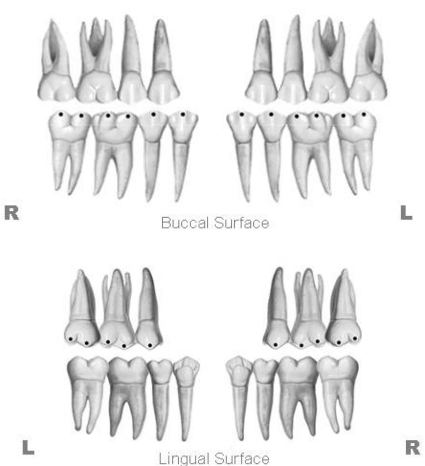
Case #  Patient

Total C-R Eval Score:

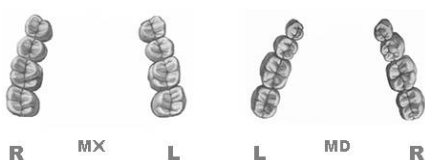
#### Alignment/Rotations



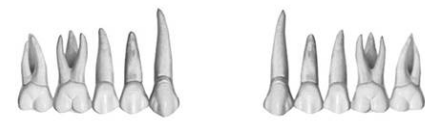
#### Occlusal Contacts



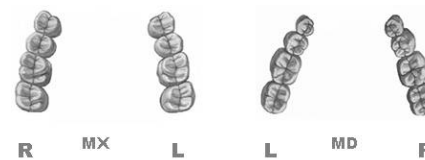
#### Marginal Ridges



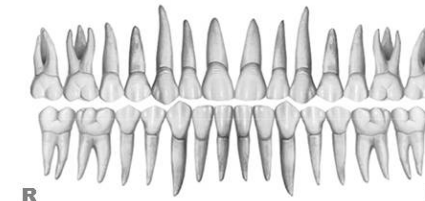
#### Occlusal Relationships




#### Buccolingual Inclination



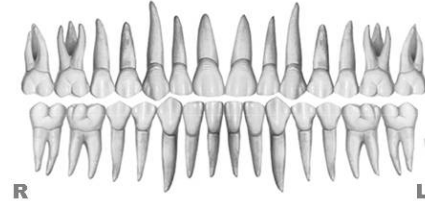
#### Interproximal Contacts



#### Overjet



#### Root Angulation



INSTRUCTIONS: Place score beside each deficient tooth and enter total score for each parameter in the white box. Mark extracted teeth with "X". Second molars should be in occlusion.