



**HAL**  
open science

# Préparation orthodontique par Clear Aligner Therapy en chirurgie orthognathique : protocole, applications cliniques et stabilité à 1 an.

Amin Daouri

► **To cite this version:**

Amin Daouri. Préparation orthodontique par Clear Aligner Therapy en chirurgie orthognathique : protocole, applications cliniques et stabilité à 1 an.. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-02291781

**HAL Id: dumas-02291781**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02291781>**

Submitted on 19 Sep 2019

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

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

# Préparation orthodontique par Clear Aligner Therapy en chirurgie orthognathique : protocole, applications cliniques et stabilité à 1 an.

Amin Daouri

► **To cite this version:**

Amin Daouri. Préparation orthodontique par Clear Aligner Therapy en chirurgie orthognathique : protocole, applications cliniques et stabilité à 1 an.. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-02291781

**HAL Id: dumas-02291781**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02291781>**

Submitted on 19 Sep 2019

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

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

Thèse pour l'obtention du  
**DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE**  
**Spécialité Chirurgie Maxillo-Faciale**

Présentée et soutenue publiquement

Le 26 Octobre 2018 à Bordeaux

Par **Amin DAOURI**

Né le 28 mars 1989 à Fréjus (83)

**Préparation orthodontique par Clear Aligner Therapy  
en chirurgie orthognathique :  
Protocole, applications cliniques et stabilité à 1 an**

**Directeur de Thèse**

Monsieur le Professeur Arnaud GLEIZAL

**Rapporteur**

Monsieur le Professeur Frédéric LAUWERS

**Membres du Jury**

Madame le Professeur Claire MAJOUFRE

**Présidente**

Madame le Professeur Marie-José BOILEAU

**Juge**

Monsieur le Docteur Étienne BARDINET

**Juge**

Monsieur le Docteur Mohamed EL-OKEILY

**Juge**



## Remerciements :

À ma Présidente du jury,

**Madame le Professeur MAJOUFRE :**

Vous me faites l'honneur d'avoir accepté de présider ce jury de thèse et de juger mon travail. Vous m'avez fait découvrir et aimer cette spécialité au moment où je cherchais encore ma voie. Vous m'avez fait l'honneur de me former dans cette magnifique spécialité et je vous en remercie. Vous êtes une chirurgienne hors pair. Votre dextérité et votre rigueur chirurgicale m'ont beaucoup apporté. Vous m'avez souvent parlé de valeurs au sein du service et je sais que c'est un mot qui vous tient à cœur ; je voulais vous dire que j'ai compris et que ces valeurs seront toujours présentes lors de mon clinicat. L'attention que vous portez au sein de votre équipe soignante au même titre que celle portée à vos patients est une qualité indéniable et je vous remercie de nous le démontrer tous les jours.

Veillez trouver dans ces quelques lignes, Madame le Professeur, l'expression de ma gratitude et de ma plus profonde admiration.

À mon Directeur de Thèse,

**Monsieur le Professeur GLEIZAL :**

Vous m'avez fait l'honneur de diriger ce travail qui me tient tant à cœur.

Vos connaissances théoriques, comme pratiques, votre sens de la transmission et de la pédagogie m'ont permis de passer une étape importante de mon internat. Merci pour la confiance que vous m'avez accordée lors de ce semestre à Lyon. Vous m'avez fait partager votre passion pour la chirurgie orthognathique, passion que je partage aujourd'hui grâce à vous et je vous en remercie.

Veillez trouver en ce travail l'expression de ma plus profonde admiration.

À mon rapporteur de Thèse,

**Monsieur le Professeur LAUWERS :**

Merci d'avoir accepté de relire et de juger ce travail. Vos conseils et commentaires m'ont été très utiles et ce serait un honneur d'en rediscuter avec vous.

Dans l'attente de pouvoir vous remercier de vive voix, veuillez trouver ici, Monsieur le Professeur, le témoignage de mon profond respect.

Aux membres de mon jury :

**À Madame le Professeur BOILEAU :**

Vous me faites l'honneur de faire partie de ce jury.

L'orthodontie est une discipline indispensable à la pratique de la chirurgie orthognathique, c'est pour cela que j'ai réalisé cette thèse. Votre ouvrage, très didactique, m'a permis de comprendre toutes les notions de base et les subtilités de l'orthodontie. Merci pour la pédagogie dont vous m'avez fait part au travers de ce livre sans lequel, cette thèse n'aurait pu voir le jour.

Veillez trouver en cet ouvrage, l'expression de ma considération la plus profonde.

**À Monsieur le Docteur BARDINET :**

Merci d'avoir accepté de faire partie de ce jury.

Votre investissement dans le monde universitaire et votre implication auprès des étudiants sont impressionnants. Il est difficile de réaliser un travail sur l'orthodontie lorsque l'on est interne de chirurgie maxillo-faciale. J'espère que ce projet est à la hauteur de vos espérances.

Veillez trouver, au travers de ce manuscrit, le témoignage de mon estime et de mon grand respect.

**À Monsieur le Docteur EL-OKEILY :**

Mohamed, merci d'avoir accepté de faire partie de ce jury qui représente tant à mes yeux.

Tu as su trouver le temps de me guider dans ce travail au sein de ton planning chargé. Tu me fais l'honneur d'être présent aujourd'hui et je t'en remercie du fond du cœur.

C'est toi qui m'as fait changer d'avis sur cette magnifique spécialité. Tu m'as ouvert les portes de la maxillo. Tu continues de m'enseigner la chirurgie orthognatique encore aujourd'hui et j'espère pour encore longtemps. Tu es mon mentor, un vrai compagnon de chirurgie et tu m'as clairement donné sans compter. Ta générosité est sans égal et sache que je ne l'oublierais jamais. Ton humeur toujours constante, ton sourire quotidien, ton dynamisme, ta considération pour les patients, ton aisance chirurgicale, ta motivation dans tous les domaines font de toi un exemple à suivre.

Tu trouveras dans ce travail le témoignage de mon respect et de mes sentiments les plus sincères.

Au Docteur MAKAREMI :

Masrou, tu es la transition parfaite avec le jury de thèse.

Je te dois un grand grand grand merci. Ta disponibilité, ta passion pour l'orthodontie et la recherche scientifique sont incroyables. Toutes ces soirées passées au téléphone pour corriger ce « gros pavé »... Tu n'as pas compté les heures et je t'en remercie du fond du cœur. J'ai adoré travaillé à tes côtés.

Sans toi, le quart du quart de cette thèse n'aurait pu être écrit.

Merci pour cette formation accélérée en orthodontie... les questions bêtes n'existent pas avec toi.

Tu as été bien plus pour moi ; tu as été un coach, notamment dans les moments difficiles où je pensais clairement que je n'arriverais jamais au bout de ce pavé.

Alors Masrou, je te suis très très reconnaissant pour tout ça. Je regrette vraiment que tu ne sois pas là aujourd'hui pour partager ce moment de joie concernant ce travail qui finalement est aussi le tien.

Je te ferais évidemment parvenir un exemplaire afin de t'exprimer mon estime et mon admiration à ton égard.

Au Docteur TESZLER :

Merci d'avoir déployé toute cette énergie à l'élaboration de ce projet. Sans vous, je n'y serais jamais arrivé. Merci pour votre disponibilité et votre passion pour l'enseignement.

Au Docteur JOSEPH Guillaume :

Il y a presque 2 ans, vous m'avez insufflé l'idée de ce sujet de thèse. J'ai appris beaucoup au décours de celle-ci et c'était le but recherché. Merci infiniment pour cette idée géniale.

Au Docteur Maya LOOT

Tu m'as accueilli dans le service de chirurgie pédiatrique quand j'étais tout jeune interne et fait découvrir la chirurgie cutanée et la chirurgie des fentes labio-palatines. Tu as eu la patience de me faire faire mes 1ers points de suture. Tu m'as permis de me poser les bonnes questions au sujet de mon ancienne spécialité qu'est l'ORL en vue de ma reconversion ultérieure en chirurgie maxillo-faciale et je t'en remercie.

**À mes maîtres de chirurgie thoracique :**

Au Professeur VELLY et vos rituels de fins d'intervention.

Merci pour votre gentillesse et votre grande expérience de la chirurgie.

Au Professeur JOUGON :

C'est à vous que je dois cette jolie façon de tenir un porte-aiguille. Vous êtes un grand chirurgien et votre école de chirurgie a été un exemple pour moi où rigueur et sagesse sont les maîtres mots. Merci pour cet apprentissage.

Au Docteur THUMEREL :

Tu te caractérises par ta précision chirurgicale sans faille. Merci d'avoir fait ce petit bout de chemin avec toi qui m'aura bien servi et me servira encore.

Au Docteur Turaia RAMI :

Tu es l'exemple même du courage. C'était un grand plaisir d'opérer d'opérer à tes côtés.

Aux IBODES de chirurgie thoracique et à nos Kuduro endiablés au bloc.

Aux IDE des ailes D et E du service de thoracique.

Au Professeur DARROUZET :

Vous avez su être à l'écoute lorsque j'étais perdu au milieu de toutes ces spécialités chirurgicales. Vous m'avez laissé le choix de réaliser la discipline qui me plaisait vraiment.

Malgré ce changement de spécialité, l'enseignement que vous m'avez transmis me sert tous les jours puisque nos spécialités sont voisines et je vous en remercie.

### **À toutes les personnes qui ont contribué à rendre mon semestre à Dax magique :**

Au Docteur Bruno ZIPOLI :

Efficacité, rigueur, tels sont les mots qui te caractérisent.

Je crois que c'est le moment de ressortir notre phrase fétiche :

« Ma Vie, Mon Oeuvre, Merci Patron ! »

À la colloc du Palace :

À mes chers colocs Romain, Pierre et Geof ! Ce semestre fut fatigant, mais on s'est bien marré... Je me souviens encore de cette soirée Palace où notre caution a sauté...

À mon co-interne dacquois : Geof... « Eh ouiiii Le Man !!! » : qu'est-ce qu'on aura ri pendant ce semestre... te voilà papa et marié aujourd'hui... le temps est passé ! Encore toutes mes félicitations à Zoé et toi.

Au Docteur CERNIER : vous avez complété ma formation en chirurgie orthopédique, et ce, dans la bonne humeur et je vous en remercie.

Au Docteur RIBEYRE : le PFNA n'a plus de secret pour moi et je t'en remercie.

Au Docteur RIOJAS : tu es la gentillesse incarnée. Merci de m'avoir fait confiance pendant ce semestre.

Aux IBODES et IDE du service de Dax.

À cette bonne vieille Ruche dacquoise qui fait parler d'elle dans toute la France :

⇒ À Féfé, Eddy, Toto, Audrey, Claire-Estelle, Urh Lach, Gaby, Ternous, Eva.

### **À mes amis d'enfance :**

À Nicolas Pianton, ton parcours m'ébahit encore et j'en suis si fier. Depuis la fréquentation des tatamis en couche-culotte jusqu'à la faculté de médecine de Nice, on ne s'est jamais quitté.

Aujourd'hui encore, j'ai le plaisir de te voir à ma thèse ce qui témoigne de notre profonde amitié.

À Nicolas Mohr, on est parti du sud-est et voilà qu'on se retrouve si près dans cette belle région du Sud-Ouest. Tu me fais la surprise d'être présent aujourd'hui et je t'en remercie.

### **À mes 2 Clubs de Judo :**

Puget sur Argens et Fréjus.



Plus précisément, j'aimerais remercier celui qui a participé à mon éducation et qui m'a inculqué les valeurs de Jigoro Kano : Laurent MAHÉ mon entraîneur. Tu m'as donné la force nécessaire pour réaliser ces longues études. C'est toi qui m'a donné l'envie d'être le meilleur. Tu as vu en moi quelqu'un de dynamique, parfois trop... tu as su m'apporter cette valeur fondamentale qu'est la maîtrise de soi. Et je t'en remercie.

Evidemment Sebastien Marquez, je ne t'oublie pas. Tu as marqué ma carrière de judo et suivi dans toutes mes compétitions. Merci pour tout.

À tous les autres judokas : Jessica, Calou, Fab, Nico, Romain, David, Franck etc.

### **À mes amis niçois de l'externat :**

#### **À commencer par la Zemelerie...**

- Fab, je vais pas reprendre les remerciements de la thèse de Titou, mais je pense pareil... Te voir encore aujourd'hui prouve notre profonde amitié... Le pire c'est que t'es là aujourd'hui, CQFD. Continue à nous envoyer tes blagues horribles, on sera toujours mort de rire.  
C'était un plaisir de se faire de petites soirées 10 ans plus tard dans une ville qu'on aurait jamais suspecté, Lyon. Merci merci et encore merci d'être là, ça me touche profondément.
  
- JV, 10 ans plus tard et tu es toujours présent... Les quotas sont toujours respectés.  
Dublin, Amsterdam, le Maroc, on a tout fait, tu as toujours été là, mais je n'ai pas réussi à te faire bronzer plus. Ton sourire et ta bonne humeur m'ont régaler toutes ces années. Je ne me rappelle pas avoir été triste avec toi... Beaucoup trop de délires ensemble. Un bref saut à Rouen et tu es aujourd'hui papa et de retour sur Nice. Merci à Juliette et toi d'avoir fait le déplacement pour ce jour si important à mes yeux.
  
- Cécile, tu es venue de loin pour me voir dans tous mes états et dans le moment le plus important de ma vie et je t'en remercie. Tu es l'amie qui a supporté les conneries de la Zemelerie et je pense que personne d'autre n'aurait pu le faire.  
Je suis ravie que tes ambitions te permettent d'être là où tu es aujourd'hui avec des perspectives immenses dans le monde de la pneumologie.
  
- Titou, bah, Titou... je n'ai pas les mots pour le moment...

Sans oublier Dédé, César, Yohan, Greg, Coco, Zim, Arty, Cess, Pékès, Cécile, Débo, Polo, Sarah ...

### **À tous les Bordelais qui m'ont accueilli dans cette magnifique région :**

- À Wendoche, Cloche'Man, Verdier, mes tous lers co-internes de chir pédiat: je me suis régaler avec vous. Ne changez rien.
  
- Mention spéciale à La Croix Jaune qui fait vibrer les internes et externes d'Aquitaine et d'ailleurs : cf. La Ruche pour éviter les doublons...

- Aux internes d'ORL du CFXM que j'ai pu connaître : Pauline, Dodo, Ahmed, Sylvain, Nico, Alix, Thomas, Flo, Romain, Thibault, Joffrey...

### **Au service d'ORL-Maxillo de Pau :**

- Au grand Docteur Michel Mondina : plus qu'un chef, plus qu'un compagnon de chirurgie, tu es devenu un réel ami. Ma plus grande progression dans cet internat est en partie grâce à toi. Tu m'as à peu près laissé la main sur tout ; tu m'as accordé ta confiance et c'est le plus grand honneur qu'on puisse me faire. Merci infiniment Michel.
- Au Docteur Pétriat : vous êtes un patron en or. Vous faites partie des rares chirurgiens à savoir encore tout faire. Vous êtes un exemple. Merci de m'avoir transmis vos connaissances théoriques et pratiques.
- Au Docteur Raux : merci de m'avoir enseigné l'ORL au bloc opératoire.
- À Camille et à toutes ces soirées endiablées.
- À Sylvestre la Fif ou futur grand rhinologue : Sylvestre, ta venue à Pau a été très bénéfique pour moi. Il s'agissait de tes débuts en rhino et tu savais déjà tant de choses. Merci de me les avoir transmises.
- Aux IDE du service d'ORL-Maxillo de Pau : Lise, Emilie, Anne-Laure, ...
- Aux IBODES du bloc d'ORL-Maxillo de Pau : Et non Anne Borrás, je ne t'ai pas oublié, Agnès non plus !!! On s'est vraiment bien marré ensemble durant ce semestre, j'ai hâte de repasser sur Pau.
- À l'internat de Pau tagué de toute part ainsi qu'aux co-internes qui l'ont habité.
- La liste est trop longue, mais ce semestre fut mémorable notamment avec cette soirée « Harry Pauper's à l'école de Paudlard ».
- Mentions spéciales pour Stefano et Vincent mes 2 acolytes de Pau.
- Évidemment, il faut mentionner Marion Petit, « Etcheburne » et Campaniche qui m'ont bien régalié ce semestre
- Aux habitants de Montardon : toujours les mêmes : Féfé, Toto, Eddy, mais aussi ADP, Thibault, Alizée, Océane, Maxence...
- Mention spéciale à la Section Médicale de Pau et à toutes nos sessions Rugby du lundi soir.

### **Au service de Chirurgie Plastique du CFXM :**

#### Au Professeur PELISSIER :

Merci de m'avoir accueilli dans votre service. Ce stage m'a appris énormément. Merci pour votre bonne humeur constante et votre sourire communicatif. Vous êtes un chirurgien brillant et un exemple à suivre. Les astreintes que nous avons passées ensemble étaient un réel plaisir. Merci pour tout et surtout ce cadeau de fin de semestre qui m'a beaucoup touché.

#### Au Professeur CASOLI :



À mes autres co-internes de plastique :

- Eva, Anais, Marianne... lourd semestre, mais on s'est bien éclaté quand même !
- À l'équipe du bloc de plastique et notamment à ce bon vieux Christophe Bernard, Elo Dori, Pascal, Géraldine
- ...

**Au service de Chirurgie Maxillo-Faciale de Lyon Croix-Rousse et de l'HFME :**

Au Docteur BOURLET :

Jérôme, je voulais encore te dire merci pour ce semestre mémorable. Tu as été un vrai compagnon de chirurgie et ceci dans la bonne humeur et avec tous les jours la même playlist et je t'en remercie. Essaie de retirer les chansons de Mylène Farmer quand même !

Au Docteur PAULUS :

Je crois que j'ai assisté aux plus belles réparations de fentes labio-palatines avec vous. Votre dextérité dans ce domaine est assez incroyable. Votre gentillesse et votre disponibilité ainsi que votre générosité auprès des internes sont des qualités indéniables.

Au Docteur JABY :

Philippe, c'était un plaisir de passer du temps au bloc opératoire avec toi.

Au Docteur JACQUEMART :

Mon 1<sup>er</sup> chinois, mon 1<sup>er</sup> péroné c'est juste grâce à tes vidéos... on a pas beaucoup opéré ensemble, mais au travers de tes vidéos, je peux te dire que oui, et je t'en remercie.

Au Docteur BACHELET :

Tu m'as confié tes patients, tu m'as lancé dans ma thèse... merci pour tout ça.

À Boris BABIC, prothésiste de Lyon Croix Rousse :

Tu m'as aidé à fabriquer tous ces modèles en plâtre et je t'en remercie. Sans toi, cette thèse n'aurait pu avoir lieu.

Au Professeur BEZIAT :

On ne se connaît pas, mais je me devais de vous remercier tant votre bouquin m'a été utile. Vous avez aussi contribué à cette thèse et je vous en remercie.

À mes anciens co-internes Lyonnais :

- À mon bon Porcheray : semestre de folie en ta compagnie. Tu feras un brillant chirurgien, j'en suis sûr. À toutes nos traumatos de l'espace ensemble.
- À Manue : tu m'auras fait pleurer de rire ce semestre... j'aurais aimé passé plus de temps à boire des coups, mais thèse oblige...
- À Julie, ma brillante co-interne et future PU...

- À Gauvain : on se sera bien marré avec tes cours de salsa au milieu du service.
- À mes autres copains Lyonnais : La Daurade (toujours avec ton casque évidemment), Anne-Saucisse, Emma, Cordier, Juliette, Sigaux, Nico Voisin, Simon, Emma, mais aussi ce bon vieux Badr, Antoine Pierrefeu...
- À toutes les IBODES et IDE sur service de CMF de Lyon Croix Rousse : Annie, Yelena, Barbara, Béa, Wiwi, Gventsas, Lisa, Manon, Lulu, Julie...
- Mentions spéciales à 2 secrétaires très spéciales :
  - o Katia, notre ritale préférée : si ma thèse a lieu aujourd'hui c'est grâce à toi... merci d'avoir convoqué tous les patients de notre étude. Merci mille fois.
  - o Isabelle, je sais pas non plus ce que j'aurais fait sans toi et je tenais à t'en remercier.
- À toutes les IBODES et IDE du service de CMF de l'HFME : Cathy, Stéphanie, Sandrine.

Aux orthodontistes qui ont participé à cette thèse :

Aux Docteurs AKNIN, ETIENNE, et TARTAIX qui ont fourni une partie des patients de cette étude.

Un grand merci au Docteur ASSELBORN :

Marc, tu m'as clairement tout expliqué pour cette thèse. Tu m'as accueilli au cabinet et accordé des heures pour travailler ce grand projet. Cette thèse ne serait pas la même sans tes superbes photos qui l'illustrent. Tu me fais l'honneur d'être venu de Lyon pour y assister et ça me touche profondément.

**Au service de Chirurgie Maxillo-Faciale de Bordeaux :**

Au Docteur BONDAZ :

Mathieu, cela fait quelques semestres que l'on passe ensemble maintenant. Tout le monde se bat pour venir sur tes blocs toujours plus intéressants les uns que les autres et évidemment j'ai l'impression de ne pas avoir assez profité. Ton perfectionnisme ainsi que ta sagesse m'impressionnent beaucoup. Tu es un exemple pour tous les internes que tu formes. Merci d'avoir partagé ton savoir avec moi et d'avoir insisté encore et encore sur les points qui te semblaient compliqués. Savoir que je peux compter sur toi pour le début de mon clinicat me rassure énormément et surtout avec le labo MADE IN FRANCE !

Au Docteur DUBREUIL :

Pierre-Antoine, PAD : merci d'avoir débarqué dans notre service de maxillo. Quel bonheur pour nous ! Tu nous as apporté les astuces de Besançon et Nantes, une autre façon de pratiquer la CMF. Un jour tu m'as dit, les gens qui poussent des coups de gueule sont les plus gentils ; je te confirme que tu es adorable et que c'est vraiment très plaisant d'opérer à tes côtés... mais un bloc sans la fameuse Punchline « Bordel à C.. » n'est pas un vrai bloc made in Dubreuil. Surtout PAD, ne change rien. Merci pour ta disponibilité et ta générosité.

Au Docteur SESSIECQ :

Quentin merci pour ta bonne humeur et la transmission de tes connaissances de CMF.

Au Docteur CRENN-VALLADE :

Gaby, tu es partie trop vite. Ce fut un plaisir d'être ton interne. Je te souhaite bonne route à Royan.

Au Docteur MAGE :

Caro, toi aussi tu es partie très vite ce qui m'a valu de prendre des responsabilités plus tôt que prévu, peut-être trop tôt. Mais ce fut utile et un beau tremplin vers le clinicat. Tu es intervenu aussi dans ma formation et je t'en remercie.

À l'équipe infirmière, AS et ASH du service de CMF et du bloc :

Agnès (toujours un plaisir de faire mes gardes en sachant que tu étais de nuit), Viviane (pierre angulaire du service de CMF), madame Zambello, les 2 Laeti, Marianne, Arancha, MariTxu, Mathilde, Sylvie, Florence, Marina, Camille, Clémence, Elise, Mina, Laurence, Cécile (bloc), Cécile (consult') et Cécile (ASH), Marie-Line, les 2 Nathalies, Anne-Sophie, Thibault, Anne-Cécile, Charlène, Gwen, Mandy, Audrey, Maelle et j'en oublie sûrement beaucoup... mais merci pour votre travail formidable qui contribue à rendre ce service super. On ne vous le dit pas assez, mais tous les patients nous disent que vous êtes formidables.

Aux secrétaires de CMF : Pascale, Christine et Elodie, merci pour votre formidable travail !

À tous mes co-internes de CMF Bordelais :

- À Thomas Roland-Billecart... la belle découverte de mon dernier semestre, de Lille à Bordeaux, tu fais l'unanimité... je me suis régalé... « Allez Ciao Roland »
- À cette bonne Pallu, avec le smile toujours présent
- À mon bon Cumulus... toujours au beau fixe
- À Charlotte, notre globe-trotteuse officielle
- À Sophie Tisne de Versailles et à Cathy, nos 2 pintades préférées.
- À Cédric qui complète ce beau duo de DESCO, on a bien ri ce semestre.
- À mon bon Moé, le meilleur médecin du service, mais aussi le meilleur informaticien. Ça ne fait aucun doute, tu feras un excellent ophtalmo.
- À mon petit Greg adoré, j'aurais aimé que tu sois là pour ce moment.
- À mon petit Thibault Gaboriau, j'ai adoré ce semestre avec toi et l'apport de tes connaissances d'ophtalmo en CMF, encore bravo pour ta thèse.
- À mon bon Héron : Antoine, on passe notre thèse le même jour, on a commencé ensemble et on finit ensemble. Tu es quelqu'un de super, et je ne doute pas que tu feras un super chirurgien. Je suis ravi de faire partie de tes amis. Hâte de fêter ça avec toi ce soir !
- À Léa, Mapi, Bastien, Mélodie, Céline, Stéphanie Haddad et tous ceux que j'ai pu oublier.
- Aux nouveaux-nés de la maxillo notamment Marion B et Marion E.

Standing Ovation pour mes 2 futurs Co-chefs :

- Elliot Pascal, mon Pascalito on a commencé notre pré-clinicat ensemble et clairement ça rapproche. On était ensemble dans les bons comme dans les mauvais moments ; on s'est soutenu, entr aidé, tu es un vrai ami et je connais tes valeurs, que ce soit sur le plan professionnel et personnel. Tu fais partie de la cour des grands maintenant et je suis sûr que tu vas briller.

- Adrien Courtemanche, mon Courty national : il faudrait une thèse entière à ton égard... je commence déjà à rire avant nos 1ers délires du clinicat. Une thèse le même jour, je ne m'y attendais pas, mais c'est la meilleure idée du siècle ; tu vas contribuer à rendre ce moment encore plus inoubliable. Tu étais là lors de mes tout 1<sup>ers</sup> pas de l'internat, lors des 1res soirées et tu es là pour la clôture... ça démontre notre profonde amitié.

**À l'équipe du cabinet rue Esprit des lois :** Fred, j'ai pris RDV avec toi pour les fêtes de Dax 2019. Aux Docteurs Michelet, Ammar-Khodja et Monsaint. C'est un plaisir d'avoir pu travailler à vos côtés. Merci pour la confiance que vous m'avez accordée.

**À tous mes autres amis Bordelais :**

- À mon 1<sup>er</sup> coloc, Pierre Coudert : ce fut un réel plaisir de partager cette 2<sup>e</sup> année d'internat avec toi rue de la Boétie.
- Merci à Laura B, SoufSouf, Apo, Guillotin, Kyrou, Carla, Anna K, Dame De Rosamel, Olivia Boudard, Katsu, Nortal, Mimin, Valou, Léa et paul Chenard, Matisan, mon bon vieux Dassé, mais aussi Eric, Louis et tous les autres du foot salle.
- À Chati, Roufi, et Sylvain C : il y en a un qui me dirait à 1h du mat' : « mais t'es où ? » à chaque fois je vous retrouve et c'est toujours un plaisir. Merci à vous !
- À Pierre-Manuel, tu es l'exemple même du courage. Tu représentes pour moi la joie de vivre et je t'en remercie.
- À mon bon Hoffner et ton côté atypique qui nous fait tant rire.
- À Antoine Catteloin, Fabrice et Pierre et nos petites soirées rue du Tondu !

**Petite parenthèse pour l'Hippocup 2018 organisée durant cette fameuse thèse :**

À tous ceux qui pensaient que l'organisation de la cup nécessitait une année sabbatique et que c'est impossible pendant la thèse... bah c'est faux !

Merci à tous les membres de l'orga de cette année, merci à ma petite Ruche, merci aux RBF, au Comics Boat, à la Fournaise, au Pin Up au Rainboat, au Hipsta Boat et j'en passe... N'oubliez pas : BEE-CUP !

Merci à Gérard Duval De Boury, à Celine et à vos 2 petites filles que j'adore. Merci pour votre bonne humeur constante et ces beaux voyages... « *On n'est pas à l'abri d'une bonne Cup !* »

***À celui ou celle que j'ai oublié : parce qu'il y a trop de thèses où des amis sont oubliés... ce message est pour toi. Merci d'avoir été là aujourd'hui ou pas d'ailleurs. À tous nos moments passés ensemble !***

Merci aux parents de Mégane pour avoir fait ce grand déplacement et assisté à ma soutenance, ça me touche énormément.

## Évidemment, il fallait y arriver ... MERCIAU STEAK CREW !!!!!!!!!!!

Il fallait bien remercier la belle bande de Steak que vous êtes : sans vous je n'aurais jamais pu connaître les samossas de chez Loulou, ni apprendre à Moukater en créole.

- Alex Soso, maître Carbo, qui l'eut cru que quelques années après s'être rencontré tu emmêlerais tes lignes de kite avec les miennes au beau milieu de la mer Rouge. Je t'aime déjà beaucoup trop ! Merci pour ça !
- Pelfi, Alano, QD, mon bobeur préféré... chaque seconde passée avec toi, j'ai l'impression que tu programmes une nouvelle malice et dieu sait qu'on s'est marré. Je t'adore mon poulet, ne change rien.
- Lanfeust, mon Ti Caf préféré. Je sais que t'es déjà en train de moukater mon orthographe créole, mais jt'aime quand même. Tu vas rapidement reprendre le gouvernail de l'iBoat, ça me manque terriblement !
- Dorcelo, notre force tranquille... c'était une expérience de folie d'organiser cette Hippocup avec toi... Ta bonne humeur constante et ta gentillesse me régale ! El Gouna, les Grenadines, le Club Med II, où est-ce qu'on part maintenant ?
- CC, à tous nos délires Insane qu'on a pu avoir... ne change rien
- Taytay, pourquoi t'es parti ? Je te kiffe trop pour que tu barre coma la Run !! Reviens vite !
- Odious Ternous, trop de choses à dire. Tu es le piment de ce crew, tu nous régales de tes pépites... ne change rien, tu es juste génial ! *Tou sait tré bian Adriannn !*
- Colonel Revel, mon coloc du 23 rue Turenne, mon ami... J'ai passé 6 mois dans cette coloc et on a bien déliré ; hâte d'aller boire de nouveau des coups avec toi ! je te vois encore chanter « Despacito » en rentrant de soirée...
- Pompiliou : à chaque fois que je pars en vacances avec toi, il nous arrive des trucs de fou... Calvi on the Rock 2018 n'en est qu'un bref exemple... Ne change rien, je te kiffe
- Tchango, jeune avocat et déjà brillant. Merci pour ta générosité et tes conseils. Comme le dit Gogo, t'es un bon Marmaille !
- Tof, sacré Tof... qu'est-ce qu'on a pu rire ensemble... Merci d'être-là aujourd'hui.
- À toi Charlie, le meilleur pour la fin : tu as été à peu près tout : co-interne, coloc, ami, chef de clinique... on est passé par des bons comme des mauvais moments, on sait qu'on peut à peu près tout se dire et qu'on peut compter l'un sur l'autre. Je crois qu'on est juste la plus belle définition de l'Amitié, alors ne changeons rien surtout !

À mon petit Rivieccio : Mon internat de maxillo n'aurait jamais été pareil sans toi, merci d'avoir débarqué à Bordeaux... Nos petits débrief au relais H me manquent beaucoup, eh oui mon pote !. Tu es un grand Ami et je suis ravi que tu sois présent aujourd'hui, ça me touche beaucoup.

À Vincent : tu es la pépite de mon internat ; tu es la définition même de ce qu'on peut appeler la sagesse, la confiance et la joie de vivre. Je ne me souviens pas t'avoir vu de mauvaise humeur. Je me souviendrais toute ma vie de ce semestre de chirurgie thoracique avec toi, qui a initié mon internat et de ces sessions thèse ensemble qui l'ont clôturé. Tu es un ami comme rarement j'en ai eu. Je te kiffe beaucoup trop. Merci à Astrid et toi d'être ici ce soir, ça me touche profondément.



À Titou : On y est, j'ai enfin trouvé les mots. Je crois qu'on a à peu près tout fait ensemble : on a vécu les plus grosses galères, on a fait les plus belles conneries, visité les 4 coins du monde. Tu disais dans ta thèse que j'étais la meilleure transition entre les amis et la famille et je te retourne cette phrase aujourd'hui. Tu es le frère que je n'ai jamais eu ! Mon partenaire de Kite, de voyages, de conf, de sous-colles, mon confident... c'est dingue tout ce que tu as pu être. Je suis ravi que tu reviennes vivre sur Bordeaux avec Lolo et je suis très ému que vous puissiez assister à ma thèse ce soir.

### À ma famille :

#### À toi Maman, À toi Papa...

Je n'aurais pu réaliser le quart du quart de ce parcours sans vous. C'est en partie pour vous que je l'ai fait. Vous avez été des parents, juste parfait : Grâce à toi Papa, j'ai bénéficié de la gentillesse et la sagesse qui te caractérise ; grâce à toi maman, j'ai hérité de ton dynamisme, ton perfectionnisme et de ton ambition. L'Amour que vous m'avez dédié était sans faille et sans limites ; vous avez toujours été présent, dans les bons comme dans les mauvais moments et même lorsque j'étais de l'autre côté du globe. N'oubliez pas une chose : l'Auteur de l'Auteur, c'est vous !

Je vous aime !

#### À mes chères sœurs :

- Titif,

J'ai vraiment beaucoup de chance de t'avoir, tu as été ma 2<sup>e</sup> maman finalement. Tu m'as suivi, encouragé, soutenu n'importe où et n'importe quand. Tu es la définition même de la générosité sans limite. Je n'ai jamais vu quelqu'un donné autant que toi. Je suis si fier d'avoir une sœur comme toi. Merci pour tout l'amour que tu m'as donné. Je t'aime fort !

- Nanou,

Ma confidente, mais aussi ma complice : le duo magique ou encore Tic et Tac. Tu m'as ouvert la voie de la médecine, tu as été ma source de motivation principale et un exemple à suivre. J'ai l'impression de suivre tes traces : je te revois encore à ta thèse et voilà qu'aujourd'hui c'est mon tour, je n'ai fait que répéter ce que tu m'as montré. Merci pour tout ça. Je t'aime fort soeurette.

#### À mes nièces et mon neveu d'amour :

Camélia, Neyla et Aden... Vous êtes tous les 3 plus sublimes les uns que les autres. Je vous aime si fort.

#### À mes 2 beaux-frères : Anass et Momo :

Plus que des beaux-frères, vous êtes de réels frères... Vous avez contribué à faciliter ma vie d'étudiant en médecine... Vous m'avez rendu tant de services, notamment quand j'étais en galère. Aujourd'hui est le meilleur jour pour vous dire merci à tous les 2.

#### À ma grand-mère :

Malgré les 2000 km qui nous séparent, je sais pertinemment que ton souhait le plus cher aurait été d'être présente. Je sais que dans les 5 prières que tu réalisais chaque jour depuis ma naissance, une attention était portée à mon égard et je t'en remercie grand-mère.

À mes tantes et oncles : Tata Rabia, car tu es médecin, j'aurais aimé que tu assistes à cette thèse puisqu'aujourd'hui tu es une consœur. À mes tantes : Latifa , Souad, Hasna, Fatima laahma, Abderlhak, Mustafa F, Bouchaib, Tonton Hassan (trop content que tu sois là aujourd'hui), Tata Renée (pareil) , mon cousin adoré Jonathan, Tonton Najib, Tonton Mustafa A, la famille Chekdouf et notamment Rida, Mourad, Mouna, Fatine et vos parents et j'en passe...

*À toi Mégane,*

*En débutant ma dernière année d'internat, et ce en plein inter-CHU à Lyon, je n'aurais jamais cru que la plus belle chose de ma vie puisse m'arriver.*

*Tu es la seule à avoir été à mes côtés du début à la fin de cette thèse. Tu m'as aidé comme jamais je n'aurais pu l'imaginer dans ce projet de thèse... Tu as été d'un soutien sans faille... Tu as su me relever quand j'étais au plus bas. Aujourd'hui, je sais que ton amour est sans limite... Ce grand événement est l'occasion de te dire à quel point Je t'aime !*

*Merci pour tout ma chérie.*

*Ta présence au quotidien fait de moi l'homme le plus heureux.*

*Je dédicace cette thèse à mes parents, Mina et Saïd :*

*« Le bonheur, c'est avoir une mère qui nous aime, un père pour nous conduire, avoir encore ses parents à l'âge d'homme pour les voir sourire à nos efforts, et voir nos parents applaudir à nos succès ».*

*(Henri-Frédéric Amiel)*

# Table des matières

<b>I. LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>3</b>
<b>II. LISTE DES FIGURES</b>	<b>3</b>
<b>III. LISTE DES ABREVIATIONS</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>14</b>
<b>2. CLEAR ALIGNER THERAPY (CAT) ET CHIRURGIE ORTHOGNATHIQUE</b>	<b>17</b>
2.1. HISTORIQUE DE LA CLEAR ALIGNER THERAPY	17
2.2. DESCRIPTION DE LA CLEAR ALIGNER THERAPY ET SES INDICATIONS : L'EXEMPLE D'INVISALIGN®	20
2.3. FONCTIONNEMENT DE LA CLEAR ALIGNER THERAPY APPLIQUE A INVISALIGN®	22
2.3.1. GENERALITES	22
2.3.2. LE SET-UP VIRTUEL DYNAMIQUE ET LA CONCEPTION DES ALIGNEURS	24
2.4. BIOMECANIQUE DE LA CLEAR ALIGNER THERAPY	29
2.4.1. PRINCIPES BIOMECANIQUES STANDARD ET REACTIONS TISSULAIRES (25)	29
2.4.1.1. LE REMODELAGE LIGAMENTAIRE ET OSSEUX	29
2.4.1.2. FORCES ET MOMENTS EN ORTHODONTIE : DEFINITIONS	31
2.4.2. FORCES ET MOMENTS APPLIQUES A INVISALIGN® (29)	34
2.5. AVANTAGES ET EFFICACITE DE LA CLEAR ALIGNER THERAPY	44
2.5.1. AVANTAGES	44
2.5.2. EFFICACITE	45
2.6. LIMITES DE LA CLEAR ALIGNER THERAPY	46
2.7. L'AMERICAN BOARD OF ORTHODONTICS (ABO) (56) : SCORES D'EVALUATION STANDARDISES UTILISES DANS NOTRE ETUDE	50
2.7.1. GENERALITES	50
2.7.2. SCORE D'EVALUATION INITIAL DES MALOCCLUSIONS : DISCREPANCY INDEX (DI)	50
2.7.3. SCORE D'EVALUATION FINAL ORTHODONTIQUE : OBJECTIVE GRADING SYSTEM (OGS)	53
2.8. TECHNIQUES CHIRURGICALES (59,60) :	56
2.8.1. OSTEOTOMIE SAGITTALE BILATERALE DE MANDIBULE (OSBM)	56
2.8.2. OSTEOTOMIE DE LEFORT I	62
2.8.3. OSTEOTOMIE DE LEFORT I SEGMENTEE	68
2.8.4. GENIOPLASTIE	69
2.8.5. CONTRACTION MANDIBULAIRE	71
2.9. CLEAR ALIGNER THERAPY COMBINE A LA CHIRURGIE ORTHOGNATHIQUE :	73
2.9.1. REVUE DE LA LITTERATURE :	73
2.9.2. EXEMPLES DE CAS PRATIQUES D'UNE CLASSE II ET III SQUELETTIQUES PRE ET POSTOPERATOIRES:	75
<b>3. PROTOCOLE ORTHODONTICO-CHIRURGICAL : CLEAR ALIGNER THERAPY ASSOCIEE A LA CHIRURGIE ORTHOGNATHIQUE EN 17 ETAPES</b>	<b>76</b>
3.1. INTRODUCTION	76

<b>3.2. MATERIEL ET METHODE</b>	<b>76</b>
<b>3.3. RESULTATS :</b>	<b>77</b>
3.3.1. 1 <sup>RE</sup> CONSULTATION ORTHODONTIQUE	79
3.3.2. 1 <sup>RE</sup> CONSULTATION DE CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE	80
3.3.3. 2 <sup>E</sup> CONSULTATION ORTHODONTIQUE : « INVISALIGN® RECORDS VISIT »	83
3.3.4. CREATION DU CLINCHECK®	84
3.3.5. 3 <sup>E</sup> CONSULTATION ORTHODONTIQUE	86
3.3.6. 4 <sup>E</sup> CONSULTATION ORTHODONTIQUE	87
3.3.7. CONSULTATIONS PERIODIQUES ORTHODONTIQUES PREOPERATOIRES	90
3.3.8. 2 <sup>E</sup> CONSULTATION DE CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE	91
3.3.9. DERNIERE CONSULTATION ORTHODONTIQUE PREOPERATOIRE	92
3.3.10. CONSULTATION DE CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE PREOPERATOIRE : « SURGICAL SET-UP VISIT »	95
3.3.11. CHIRURGIE ORTHOGNATHIQUE	98
3.3.12. TEMPS D'HOSPITALISATION POSTOPERATOIRE	99
3.3.13. 1 <sup>RE</sup> CONSULTATION ORTHODONTIQUE POSTOPERATOIRE	100
3.3.14. 2 <sup>E</sup> CONSULTATION ORTHODONTIQUE POSTOPERATOIRE	100
3.3.15. PHASE DE FINITIONS ORTHODONTIQUES POSTOPERATOIRE	101
3.3.16. CONSULTATIONS DE CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE POSTOPERATOIRES	102
3.3.17. PHASE DE CONTENTION POSTOPERATOIRE	103
<b>3.4. DISCUSSION</b>	<b>104</b>
<b>3.5. CONCLUSION</b>	<b>109</b>
<b><u>4. EFFICACITE D'INVISALIGN® COMBINE A LA CHIRURGIE ORTHOGNATHIQUE : ETUDE COMPARATIVE</u></b>	<b><u>110</u></b>
4.1. INTRODUCTION	110
4.2. MATERIEL ET METHODES	111
4.3. RESULTATS	115
4.4. DISCUSSION	126
4.5. CONCLUSION	134
<b><u>5. CHIRURGIE ORTHOGNATHIQUE AVEC PREPARATION PAR INVISALIGN® : ETUDE EN COURS ET PERSPECTIVES ?</u></b>	<b><u>135</u></b>
5.1. QUESTION DE LA STABILITE A 1 AN POSTOPERATOIRE PAR ANALYSE CEPHALOMETRIQUE DE TWEED	135
5.2. QUALITE DE LA DECOMPENSATION AVEC INVISALIGN® VERSUS MULTIATTACHES ?	140
5.3. CONCLUSION	141
<b><u>6. CONCLUSION GENERALE</u></b>	<b><u>142</u></b>
<b><u>7. BIBLIOGRAPHIE</u></b>	<b><u>144</u></b>
<b><u>8. ANNEXES :</u></b>	<b><u>160</u></b>
8.1. ARTICLE N°1 : SOUMIS A L'« AMERICAN JOURNAL OF ORTHODONTICS AND DENTOFACIAL ORTHOPEDICS »	160
8.2. ARTICLE N°2 : SOUMIS A L'« EUROPEAN JOURNAL OF ORTHODONTICS »	183
	203
	204
<b><u>9. SERMENT D'HIPPOCRATE</u></b>	<b><u>207</u></b>

## I. Liste des tableaux

**Tableau 1 :** Comparaison des caractéristiques des 2 groupes avant traitement (T0)

**Tableau 2 :** Reproductibilité inter-examineur sur le score DI avant traitement (T0)

**Tableau 3 :** Comparaison des caractéristiques des 2 groupes durant le traitement et en fin de traitement (Tf)

**Tableau 4 :** Reproductibilité inter-examineur sur le C-R Eval score après traitement (Tf)

**Tableau 5 :** Comparaison des durées de traitement entre le groupe « *Invisalign* » et le groupe « *braces* » au sein de diverses études

## II. Liste des figures

Figure 1 : *Système Biostar® dans la conception de gouttières Essix®, d'après le site [www.essix.com](http://www.essix.com)*

Figure 2 : *Aligneurs Essix®, d'après l'article de Sheridan de 1998 (8)*

Figure 3 : *Exemple de Set-up virtuel dynamique : ClinCheck® dans le cadre des gouttières Invisalign®*

Figure 4 : *Porte-empreintes, d'après L&G® Si Impression material*

Figure 5 : *Empreintes en PVS, d'après [www.juniordentist.com](http://www.juniordentist.com)*

Figure 6 : *Scanner à empreintes, d'après « Invisalign® technology in orthodontics », par le Dr Rabab Khursheed [www.slideshare.net/rababkhursheed/invisalign-54350676](http://www.slideshare.net/rababkhursheed/invisalign-54350676)*

Figure 7 : *Console scanner intra-oral iTero, d'après [www.itero.com](http://www.itero.com)*

Figure 8 : *Scanner intra-oral en cours de réalisation, d'après [www.cohenortho.com](http://www.cohenortho.com)*

Figure 9 : *Récepteur scanner intra-oral, d'après [www.suttonkidsdental.com](http://www.suttonkidsdental.com)*

Figure 10 : *Réalisation d'un « mordu », d'après « Invisalign® technology in orthodontics », par le Dr Rabab Khursheed*

Figure 11 : *« mordu », d'après « Invisalign® technology in orthodontics », par le Dr Rabab Khursheed*

Figure 12 : *Élaboration initiale du ClinCheck® par le VOT, d'après « Invisalign® technology in orthodontics », par le Dr Rabab Khursheed, [www.slideshare.net/rababkhursheed/invisalign-54350676](http://www.slideshare.net/rababkhursheed/invisalign-54350676)*

Figure 13 : Image tirée de l'article du Dr Makaremi (21) : « conception actuelle de l'outil thérapeutique orthodontique par procédé CAD/CAM (image procédés industriels : Suresmile Robot ) »

Figure 14 : Image tirée de l'article du Dr Makaremi (21) : « Symbiose entre le praticien et l'intelligence artificielle »

Figure 15 : Aligneur maxillaire type Invisalign® : vue externe

Figure 16 : Aligneur maxillaire type Invisalign® : vue interne

Figure 17 : Contention par fil métallique, d'après l'article du Dr AlKhadra « A simplified technique for chairside bonding of lingual retainer » (24)

Figure 18 : Position du Centre de résistance (Cr) avec application d'une force à son niveau, d'après Caldas et al (28)

Figure 19 : Création d'un moment de force par une force appliquée à distance du Cr (rotation), d'après Caldas et al (28)

Figure 20 : Description des différents mouvements en fonction des forces appliquées (flèches bleues) et de la position du CRot : point rouge, d'après le site du Dr Lemay

Figure 21 : Force potentiellement applicable sur une attache collée sur la partie coronaire d'une dent, d'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)

Figure 22 : Démonstration de la force applicable par un aligneur avec sa composante linguale et sa force, d'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)

Figure 23 : Attaches optimisées : Forces extrusives simultanées et d'intensité égale sur les 4 incisives, d'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)

Figure 24 : Attache de rotation optimisée, d'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)

Figure 25 : Attache optimisée Multi-plane, d'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)

Figure 26 : Point de pression lingual, d'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)

Figure 27 : Point de pression lingual, d'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)

Figure 28 : Attaches optimisées pour le contrôle des racines, d'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)

Figure 29 : Power Ridges, d'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)

Figure 30 : Precision Bite Ramps, d'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)

Figure 31 : Taquets conventionnels pouvant être prescrits en substitution ou en plus des fonctionnalités SmartForce® et des autres auxiliaires, Source Align Technology, inc.

Figure 32 : Évolution et innovations Invisalign®, d'après l'article de Chazalon et al (37)

Figure 33 : Précision Cuts, d'après « Invisalign® G3 », [www.invisalign.co.nz/doctor/doc/brochures/G3\\_brochure .pdf](http://www.invisalign.co.nz/doctor/doc/brochures/G3_brochure.pdf)

Figure 34 : Pince de Hilliard, d'après [www.dentsplygac.at/sites/all/files/userfiles/shared/07\\_instruments-2017-lowres.pdf](http://www.dentsplygac.at/sites/all/files/userfiles/shared/07_instruments-2017-lowres.pdf)

Figure 35 : Fenêtres réalisées au sein des gouttières laissant la place aux boutons

Figure 36 : Grille d'évaluation du Discrepancy Index (DI), disponible sur [www.americanboardortho.com](http://www.americanboardortho.com)

Figure 37 : Gauge de l'ABO

Figure 38 : Grille d'évaluation du Cast-Radiograph Evaluation Score, disponible sur [www.americanboardortho.com](http://www.americanboardortho.com)

Figure 39 : Incision vestibulaire postérieure, d'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

Figure 40 : Décollement sous-périosté et exposition osseuse, d'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

Figure 41 : Tracé d'ostéotomie selon la technique d'Obwegeser-Dalpont modifiée, d'après le site : [www2.aofoundation.org](http://www2.aofoundation.org)

Figure 42 : Principe du repérage condylien, d'après le livre du Pr Béziat : « Chirurgie orthognathique piézoélectrique » (59)

Figure 43 : Vue peropératoire d'un repérage condylien gauche, d'après le livre du Pr Béziat : « Chirurgie orthognathique piézoélectrique » (59)

Figure 44 : Clivage sagittal mandibulaire selon la technique d'Obwegeser-Dalpont modifiée, d'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

Figure 45 : Mobilisation du segment osseux mandibulaire selon le tracé décrit par Obwegeser Dalpont, d'après le Dr Kumar, disponible sur [www.slideshare.net/GpkKumar/skeletal-deformities-of-lower-third](http://www.slideshare.net/GpkKumar/skeletal-deformities-of-lower-third)

Figure 46 : Ostéosynthèse du clivage sagittal de mandibule par vissage bicortical, d'après Raphaël et al, de l'EMC de Chirurgie plastique et reconstructrice (64)

Figures 47 a et b : Ostéosynthèse avec 3 vis bicorticales,

a) D'après Raphaël et al, de l'EMC de Chirurgie plastique et reconstructrice (64)

b) D'après le livre de Ayoub et al : « Handbook of orthognathic treatment : a team approach » (65)

Figure 48 : Possibilité de mobilisation du segment maxillaire lors d'une ostéotomie de Le Fort I, d'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

Figure 49 : Incision vestibulaire maxillaire, d'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

Figures 50 a et b : Trait d'ostéotomie maxillaire de type Le Fort I avec schéma en 3D et coupe coronale,

a) D'après Raphaël et al, de l'EMC de Chirurgie plastique et reconstructrice (64)

b) D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

Figure 51 : Ostéotomie de la suture ptérygo-maxillaire, d'après Raphaël et al, de l'EMC de Chirurgie plastique et reconstructrice (64)

Figure 52 : Down-Fracture, d'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

Figure 53 : Vue supérieure du plateau palato-dentaire abaissé, d'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

Figure 54 : Régularisation du Vomer : vue latérale, d'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

Figure 55 : Régularisation du Vomer : vue supérieure, d'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

Figure 56 : Exemple de mesure de la quantité d'impaction nécessaire avant ostéotomie maxillaire, d'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

Figure 57 : Schéma : Vue coronale d'une impaction maxillaire, d'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

Figure 58 : Schéma : Vue de face et profil : ostéosynthèse d'une ostéotomie de Le Fort I, d'après Deffrennes et al, de l'Encyclopédie Médico-Chirurgicale, Techniques chirurgicales- Tête et cou (67)

Figure 59 : Schéma : Vue supérieure : Tracé d'une disjonction intermaxillaire, d'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

Figure 60 : Vue supérieure peropératoire d'une disjonction intermaxillaire de 4 mm, d'après le livre du Pr Béziat : « Chirurgie orthognathique piézoélectrique » (59)

Figure 61 : Trait de génioplastie et mouvements possibles, d'après Deffrennes et al, de l'Encyclopédie Médico-Chirurgicale, Techniques chirurgicales- Tête et cou (67)

Figure 62 : Téléradiographie de face et profil : exemple de génioplastie d'avancée



Figure 63 : Trait d'ostéotomie symphysaire lors d'une contraction mandibulaire, d'après le livre du Pr Béziat : « Chirurgie orthognathique piézoélectrique » (59)

Figure 64 : Ostéosynthèse de la symphyse mandibulaire puis de l'ostéotomie sagittale de mandibule, d'après le livre du Pr Béziat : « Chirurgie orthognathique piézoélectrique » (59)

Figure 65 : Erich Arch Bar en vue d'un blocage maxillo-mandibulaire, d'après l'article de Taub et al (72)

Figure 66 : Vis IMF en vue d'un blocage intermaxillaire, d'après l'article de Taub et al (72)

Figure 67 : Vis IMF et blocage intermaxillaire, d'après l'article de Kankam et al (73)

Figure 68 : Classe III squelettique préopératoire (A) et postopératoire (B), source Professeur Gleizal

Figure 69 : Classe II squelettique préopératoire (A) et postopératoire (B), source Professeur Gleizal

Figure 70 : Frise chronologique résumant les 17 étapes du protocole orthodontico-chirurgical : Invisalign® combiné à la chirurgie orthognathique

Figure 71 : Hauteur des 3 tiers de la face

Figure 72 : Symétrie du visage

Figure 73 : Ligne interincisive

Figure 74 : Examen de profil avec de haut en bas les angles : naso-frontal, naso-labial, labio-mentonnier, cervico-mentonnier.

Figure 75 : Classification des malocclusions selon Angle, d'après le livre de Zunzarren, Guide Clinique D'odontologie (74)

Figure 76 : Classification squelettique selon Ballard, d'après le livre de Zunzarren, Guide Clinique D'odontologie (74) (images du Pr de Brondeau)

Figures 77 A, B et C : Exemple de ClinCheck® à différentes étapes :

A. Stripping mandibulaire (jaune),

B. Mise en place d'attaches optimisées,

C : Simulation de la réduction du décalage antéro-postérieur par chirurgie orthognathique

Figure 78 : Tableau résumant les attaches optimisées (SmartForce®), points de pressions, Power Ridges et Bite Ramps, Source Align Technology, inc.

Figure 79 : IPR par bande sablée, d'après le Dr Fouda, disponible sur

<https://www.slideshare.net/proffouda1/interproximal-enamel-reduction-stripping>

Figure 80 : IPR par disque diamanté, d'après le Dr Fouda, disponible sur

<https://www.slideshare.net/proffouda1/interproximal-enamel-reduction-stripping>

Figure 81 : IPR par fraise (STARS), d'après le Dr Fouda, disponible sur

<https://www.slideshare.net/proffouda1/interproximal-enamel-reduction-stripping>

Figure 82 : Téléradiographie de profil avec analyse de Tweed utilisée dans notre 2<sup>e</sup> étude Figures

83 A et B : Photos de face et vue inférieure du maxillaire montrant la position des boutons

céramiques et métalliques

Figure 84 : Photos de face avec boutons céramiques et métalliques : aligneurs en place et fenêtres

incorporées pour laisser place aux boutons

Figure 85 : Application d'une source de chaleur au niveau de la région incisive de l'aligneur pour réaliser une expansion transversale manuelle des aligneurs neutres.

Figure 86 : Bilan radiographique et photographique préopératoire

Figure 87 : Exemple de set-up chirurgical avec avancée mandibulaire de 6,6mm, dérotation droite

=> gauche mandibulaire et maxillaire de 0,5 et 1 mm respectivement, horizontalisation (de l'obliquité occlusale) de 2 mm à gauche vers le bas.

Figure 88 : Plans d'occlusion : initial (jaune), intermédiaire (bleu), final (beige)

Figure 89 : Plan d'occlusion initial sur le modèle en plâtre (Classe II dento-squelettique)

Figure 90 : Plan d'occlusion intermédiaire sur le modèle en plâtre : avancée mandibulaire et dérotation

Figure 91 : Plan d'occlusion final sur le modèle en plâtre : avancée maxillaire

Figure 92 : Téléradiographies de face et profil postopératoires immédiates d'une ostéotomie bimaxillaire

Figure 93 : Ablation progressive des boutons entre le 2<sup>e</sup> et le 6<sup>e</sup> mois postopératoire

Figure 94 : Photo de face en fin de traitement

Figure 95 : Photo de profil en fin de traitement

Figure 96 : Modèles en plâtre en fin de traitement : occlusion satisfaisante

Figure 97 : Temps total de traitement et score MGS individuel avec différences statistiquement significatives entre les 2 groupes :

- A. Temps total de traitement (mois)
- B. Score : alignement
- C. Score : inclinaison bucco-lingual
- D. Score : contacts occlusaux
- E. Score : contacts interproximaux

Figure 98 : Diagrammes de corrélation :

Diagrammes exposant les corrélations en DI et durée totale du traitement

- A. Groupe « Invisalign »
- B. Groupe « braces »

Diagrammes exposant les corrélations entre DI et MGS

- C. Groupe « Invisalign »
- D. Groupe « Braces »

Figure 99 : Schématisation des différents critères de l'analyse céphalométrique de Tweed notifiés sur cette téléradiographie de profil



### III. Liste des abréviations

A	Point le plus postérieur de la concavité joignant l'épine nasale antérieure à l'os alvéolaire des incisives supérieures
A0	Projection orthogonale du Point A sur le plan d'occlusion
Ar	Point le plus postéro-inférieur du condyle au sein de l'articulation temporo-mandibulaire
B	Point le plus postérieur de la concavité joignant l'os alvéolaire des incisives inférieures au menton
B0	Projection orthogonale du Point B sur le plan d'occlusion
ANB	Angle entre point A - Nasion - point B
ABO	American Board of Orthodontics
ARIF	Activation – Résorption – Inversion – Formation
BMU	Basic Multicellular Unit
BSSO	Bilateral Sagittal Split Osteotomy = OSBM
CAD	Computer-Aided Design (Conception assistée par ordinateur)
CAM	Computer-Aided Manufactured (Fabrication assistée par ordinateur)
CAT	Clear Aligner Therapy
CNIL	Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés
Cr	Centre de résistance
C-R Eval Score	Cast-Radiograph Evaluation Score
CRot	Centre de Rotation
DI	Discrepancy Index
DIM	Disjonction Inter-Maxillaire
EMC	Encyclopédie Médico-Chirurgicale
ENA	Epine Nasale Antérieure

ENP	Epine Nasale Postérieure
F	Force
FDA	Food and Drug Administration
FMA	Angle formé entre le plan mandibulaire et le plan de Francfort
FMIA	Angle formé par le plan de Francfort et l'axe de l'incisive mandibulaire (la plus vestibulo-versée)
Go	Gonion : point le plus postéro-inférieur de l'angle mandibulaire
HFA	Hauteur Faciale Antérieure (Me - ENA)
HFP	Hauteur Faciale Postérieure (Go-Ar)
I	Incisive maxillaire la plus vestibulo-versée
i	Incisive mandibulaire la plus vestibulo-versée
I/i	Angle interincisif
I-Fr	Angle entre incisive maxillaire supérieure et plan de Francfort
IC95%	Intervalle de Confiance à 95%
ICC	Coefficient de Corrélation Intraclasse (Intraclass Coefficient Correlation)
IL	InterLeukine
IMF	Blocage maxillo-mandibulaire ou Blocage intermaxillaire (InterMaxillary Fixation)
IMPA	Angle formé par le croisement du plan mandibulaire avec l'axe de l'incisive inférieure (la plus vestibulo-versée)
IPR	Réduction Amélaire Interproximale (InterProximal Enamel Reduction)
IQR	InterQuartil Range
MAUDE	Manufacturer And User facility Device Experience
Mc	Couple de force

Me	Point le plus bas de la symphyse mentonnière
Me Cut	Point cutané le plus antérieur du menton
Mf	Moment de force
MGS	Model Grading System
MMP-2	MetalloProtéases Matricielles de type 2
Na	Nasion : point le plus antérieur de la suture naso-frontale
NHANES	National Health and Nutrition Estimates Survey
ODF	Orthopédie Dento-Faciale
OGS	Objective Grading System = MGS
Or	Point orbitaire inférieur le plus antérieur
OS	Chirurgie Orthognathique (Orthognathic Surgery)
OSBM	Ostéotomie Sagittale Bilatérale de Mandibule = BSSO
OT	Traitement Orthodontique (Orthodontic Treatment)
PAR Index	Peer Assessment Rating Index
PLI	Indice de Plaque Dentaire (dental Plaque Index)
Po	Porion : point le plus élevé du conduit auditif externe osseux
PVS	PolyVinyl Siloxane
RCT	Etudes Contrôlées Randomisées (Randomised Controlled Trials)
S	Centre de la Selle Turcique
SBI	Index de saignement du Sulcus (Sulcus Bleeding Index)
SD	Déviation Standard
SNA	Angle entre Selle Turcique - Nasion - point A
SNB	Angle Selle Turcique - Nasion - point B
STARS	Safe Tipped Air Rotor Stripping
T0	Temps avant le début du traitement
TEM	Technical Error of Measurement

Tf	Temps après la fin du traitement
TGF	Transforming Growth Factor
VEGF	Vascular Endothelial Growth Factor
VOT	Technicien Virtuel Orthodontique (Virtual Orthodontic Technician)



## 1. Introduction

La prévalence des malocclusions dans le monde est très importante. Une grande étude réalisée aux États-Unis : 3rd National Health and Nutrition Estimates Survey (NHANES III)(1) a montré sur un échantillon de 14 000 patients Américains, que 30% seulement avaient une occlusion normale, 50% une malocclusion en classe I, 15% en classe II et moins de 1% en classe III. 4% de la population était atteinte d'une malocclusion sévère et 2% d'une réelle dysmorphose dento-maxillaire requérant une chirurgie orthognathique associée.

La chirurgie orthognathique est une spécialité en plein essor. Celle-ci fait face à un nombre de demandes de plus en plus importantes au fil des décennies.

Avant les années 2000, les patients adultes avec dysmorphoses dento-squelettiques étaient gênés par le fait qu'il était nécessaire de corriger les anomalies de positions dentaires avant de réaliser un repositionnement des bases osseuses par la chirurgie orthognathique (les patients souhaitant éviter le côté « visible » des appareils multiattaches et l'impact sur leur vie socio-professionnelle). Certains patients renonçaient même à tout traitement (orthodontique et chirurgical), ou alors parfois les patients refusaient l'orthodontie pour ne bénéficier que de la chirurgie orthognathique avec pour conséquences des résultats moins stables, moins optimaux sur le plan esthétique et fonctionnel.

La chirurgie orthognathique s'est démocratisée progressivement. Initialement, le recours à cette chirurgie était moindre, car cette chirurgie ainsi que ses suites étaient lourdes ; mais elle a été optimisée au cours de son histoire.

L'orthodontie a ensuite évolué de concert avec la chirurgie orthognathique. Ces 2 spécialités sont de plus en plus intriquées et considérées comme dépendantes l'une de l'autre. Les patients doivent être préparés sur le plan orthodontique avant de bénéficier d'une chirurgie orthognathique. Aujourd'hui, il est impossible de réaliser des compromis et d'avoir recours à la chirurgie orthognathique sans préparation orthodontique et vice-versa dans le cadre des dysmorphoses dento-

squelettiques. Aujourd'hui, un patient requérant une chirurgie orthognathique relève obligatoirement d'une préparation orthodontique. En parallèle de cette démocratisation, le souci de l'esthétique et du côté « visible » des appareils multiattaches s'est résolu avec l'apparition de la Clear Aligner Therapy (CAT). Aujourd'hui un traitement correspondant aux attentes des patients peut être proposé en intégralité.

En effet, dans l'histoire de l'orthodontie, on note un réel effort pour progresser dans le domaine esthétique par rapport à ces appareils multiattaches inesthétiques. Les patients sont de plus en plus demandeurs de solutions orthodontiques discrètes au même titre que le confort et l'absence de douleurs(2) . Les appareils multiattaches se sont donc modifiés pour voir apparaître les appareils labiaux céramiques puis les appareils linguaux et enfin les aligneurs dans le cadre de la Clear Aligner Therapy (CAT).

La problématique de ces nouvelles solutions orthodontiques se pose lorsqu'on veut traiter des dysmorphoses dento-squelettiques avec à terme une chirurgie orthognathique.

Comment réaliser le blocage maxillo-mandibulaire peropératoire avec du lingual ou avec une Clear Aligner Therapy (CAT) ?

Est-ce une solution réellement efficace ?

Peut-on obtenir des décompensations satisfaisantes avec ces techniques en vue de la chirurgie ?

Ces solutions permettent-elles d'obtenir des résultats aussi stables qu'avec des multiattaches classiques ?

La littérature détient déjà de nombreuses études en ce qui concerne le lingual qui a fait son apparition dans les années 80. En revanche, ces questions restent toujours en suspens quant à la Clear Aligner Therapy qui a fait son apparition dans les années 2000, où il n'existe à ce jour que des case-report suggérant qu'il est possible de traiter ces dysmorphoses dento-squelettiques par un traitement combinant CAT et chirurgie orthognathique.

Par contre, aucun protocole détaillé n'a été décrit, aucune série n'a été publiée à ce jour concernant l'efficacité de la CAT dans un contexte chirurgical ni une étude concernant la stabilité des bases

osseuses à distance de la chirurgie. Tout ceci freine les orthodontistes et chirurgiens à l'utilisation de ce traitement combiné.

Nous avons donc tenté dans cet ouvrage de répondre à toutes ces questions.

Il convenait donc, avant d'exposer nos études, de faire un bref rappel historique de la CAT, d'expliquer les notions de base en orthodontie afin de les appliquer à la CAT en vue de comprendre notre protocole orthodontico-chirurgical. Il était nécessaire d'expliquer notre méthode d'évaluation des cas d'une de nos études par un score standardisé issu de l'American Board of Orthodontics.

Et enfin, il convenait également d'aborder les techniques chirurgicales utilisées dans nos études.



## 2. Clear Aligner Therapy (CAT) et Chirurgie Orthognathique

### 2.1. Historique de la Clear Aligner Therapy

La Clear Aligner Therapy (CAT) est une innovation très importante dans le domaine de l'orthodontie. Il s'agit de gouttières amovibles transparentes dotées de forces permettant d'obtenir des déplacements dentaires. Néanmoins, l'idée de la thérapeutique par aligneurs prend ses origines au début du XXe siècle où la fonction thérapeutique visant à mobiliser les dents n'avait pas encore vu le jour.

En effet, la 1re personne ayant créé des gouttières dans le domaine dentaire est Remensnyder (3) en 1925, mais ce n'était pas à des fins orthodontiques. Il appelait cette gouttière : "Flex-O-Tite" gum massaging appliance.

Elle avait pour but de traiter certaines parodontopathies. Il fit le constat durant son expérience que certaines dents s'étaient mobilisées.

Cette découverte fut reprise par Kesling(4) en 1945 qui relate son expérience avec son appareil souple qu'il appelle « Tooth Positionner » pour déplacer les dents.

L'élasticité des gouttières associée à la plasticité parodontale obtenue lors du traitement multiattaches mis en place préalablement aux gouttières (dents instables) permet de réaliser des finitions (faibles rotations, translations, versions) avec ce positionneur. Il servirait également de contention finale. Il précise également que pour réaliser des mouvements de plus grande amplitude il suffit de réaliser des sets-up itératifs pour obtenir une série de gouttières avec les objectifs de déplacement propre à chaque positionneur créé.

Nahoum (5) en 1964, développe également ses propres gouttières : dans le domaine parodontal (attelle), chirurgical (packing chirurgical), dentaire (moule pour fabriquer des couronnes ou bridges provisoires), mais également en orthodontie : contention de fin de traitement ou déplacement dentaire pour corriger la fermeture d'espaces antérieurs et les rotations mineures. L'originalité de ses gouttières réside dans l'épaisseur de celles-ci qui sont quasi invisibles (très fines : 0.010 inches

à 0.040 inches=1mm). Il évoque une méthode ingénieuse pour les fabriquer à partir d'un appareil « aspirant ».

Ponitz (6) en 1971 s'intéresse également au procédé de thermoformage et à ses applications.

Mac Namara (7) en 1985 reprend des idées de Ponitz pour l'utilisation de ces gouttières dans le cadre de la fin d'un traitement orthodontique, pour des finitions, ou pour une contention temporaire.

L'originalité de Mac Namara réside dans la modification du thermoformage de Nahoum et Ponitz, où il préfère le système Biostar® par pression positive.

Ce sont les travaux de Sheridan (8) dans les années 90 qui vont permettre d'aboutir réellement à des traitements orthodontiques par gouttières au moyen du système Essix (1993) qui sont des gouttières fabriquées à partir de modèles en plâtre modifiés, avec des « boutons» ou des fenêtres de façon à mobiliser les dents selon la direction que l'on souhaite.

Ce concept sera repris par Invisalign®. Le thermoformage est réalisé avec le système Biostar®. (Figures 1 et 2).

*Figure 1 : Système Biostar® dans la conception de gouttières Essix®, d'après le site www.essix.com*



*Figure 2 : Aligneurs Essix®, d'après l'article de Sheridan de 1993(8)*



Sheridan évoque le sujet des extractions dentaires auxquelles ils s'opposent pour prôner la Réduction Amélaire Inter-Proximal (IPR) (9) afin de créer de l'espace par ces stripping et ainsi mettre en place ces gouttières successives que le clinicien peut fabriquer au cabinet et adapte à chaque consultation comme dans les systèmes multiattaches. Ce principe sera également repris par Invisalign®.

Pour réaliser des mouvements dentaires complexes type égression ou ingression, il exploite les fenêtres de ces gouttières : points d'ancrage d'élastiques montés respectivement en « V » (ancrage sur les dents adjacentes) ou en « X » (sur la même dent). Sheridan va se servir de la totalité de la surface de la dent pour appliquer ses forces (via ces fenêtres, boutons ou encore apposition de composite) et ainsi avoir un impact dans les 3 dimensions rendant ainsi possible des mouvements de translations, rotations, ingression et égression. Ces principes seront repris plus tard par Invisalign®.

C'est en 1997 que les 1res gouttières Invisalign® ont vu le jour. 2 personnes sont à l'origine de cette innovation : Kelsey Wirth et Zia Chisti diplômés de l'école de commerce de Stanford. Ils devaient bénéficier d'un traitement orthodontique et ont opté pour les aligneurs Essix®.

Ils ont alors décidé d'optimiser ce traitement en créant la société Align Technology, inc. et ces gouttières Invisalign® donnant naissance ainsi à une nouvelle alternative orthodontique : la Clear Aligner Therapy (CAT).

Il existe aujourd'hui beaucoup d'effervescence dans le domaine de la CAT et notamment pour Invisalign® avec un intérêt économique majeur des firmes en lien avec l'avènement du scanner intra-oral et des empreintes numériques, qui font que cette entreprise est en plein essor actuellement.

## 2.2. Description de la Clear Aligner Therapy et ses indications : l'exemple d'Invisalign®

Selon Keim, (10) la Clear Aligner Therapy popularisée initialement par Invisalign® est une réelle innovation technologique.

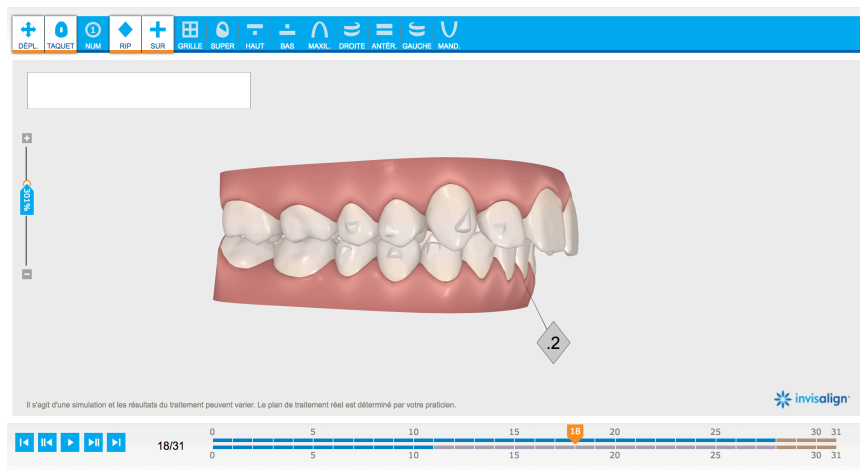
Il s'agit de gouttières ou aligneurs faisant partie de la famille des élastomères thermoplastiques (TPS) appartenant à la catégorie des polymères styréniques. Ces élastomères ont la capacité de s'assouplir sous l'effet de la chaleur, et à l'inverse de se rigidifier sous l'effet du froid ce que nécessite le processus de fabrication des aligneurs (thermoformage).

Au sein de cette famille, on va retrouver des aligneurs soit en copolyester soit en polyuréthane. Le matériau utilisé chez Invisalign® est du polyuréthane.



La 1<sup>re</sup> génération de polyuréthane utilisée par Invisalign® jusqu'en 2013 était « EX30 » puis le nouveau polyuréthane SmartTrack® (un thermoplastique multicouche) a vu le jour rendant ces gouttières plus efficaces (11). Ces gouttières font moins de 1 mm d'épaisseur et sont conçues à l'aide de la technologie CAD-CAM (Computed-Aided Design ; Computed-Aided Manufactured). Une empreinte numérique est réalisée par scanner intra-oral et modélisée par informatique. C'est à partir de cette image numérisée en 3D que le projet thérapeutique va prendre naissance (par exemple le ClinCheck® : set-up virtuel dynamique) afin de réaliser un enchaînement de gouttières spécifiques pour chaque patient et propre à son anatomie (Figure 3).

*Figure 3 : Exemple de Set-up virtuel dynamique : ClinCheck® dans le cadre des gouttières Invisalign®*



Nous développerons ce passage en détail dans la partie sur le Set-up virtuel dynamique.

Lorsqu'un patient est traité par aligneurs type Invisalign®, il doit suivre une série d'aligneurs à changer tous les 15 jours et à porter 22h / 24. Ces gouttières ne sont censées être retirées que pendant la période des repas. Chaque aligneur permet des déplacements dentaires individuels d'une amplitude de 0,25 mm. Le patient devra à la fois être observant, compliant et prendre soin de ses gouttières en les nettoyant régulièrement.

En ce qui concerne les indications de la CAT et notamment de Invisalign®, elles ont beaucoup évolué avec les différentes générations de gouttières ayant fait leur apparition sur les 2 dernières décennies.

Au lancement d'Invisalign®, on ne préconisait la thérapie par aligneurs que pour les malocclusions simples (12,13) avec encombrements mineurs. Les gouttières invisibles étaient déconseillées dans le cadre de mouvements de translations importants (fermeture d'espace dans les extractions > 5mm), de dérotations, de torque, d'ingression (cas de supraclusions) ou égression (béances) avec une prédictibilité globale des mouvements de 41% au maximum (14–16). Aujourd'hui, l'efficacité des aligneurs a bien évolué et se rapproche de plus en plus des principes de base d'Andrews au sujet des appareils multiattachés (17) avec un contrôle dans les 3 plans de l'espace. En effet, selon Keim, la quasi-totalité des malocclusions peuvent aujourd'hui être traitées avec succès (10). Nous étudierons cette notion dans la discussion de notre 2<sup>e</sup> article.

### 2.3. Fonctionnement de la Clear Aligner Therapy appliqué à Invisalign®

#### 2.3.1. Généralités

Après avoir proposé au patient toutes les alternatives thérapeutiques avec les avantages et inconvénients de chacune, le patient en accord avec son orthodontiste choisit l'option qui lui convient et correspond le mieux.

Dans le cadre de la Clear Aligner Therapy, l'orthodontiste prend des empreintes. Il existe alors 2 possibilités : soit, il s'agit d'empreintes réalisées avec un Polyvinyl siloxane (PVS) (Figures 4 et 5) qui sont envoyés à Invisalign® qui, à partir de ces empreintes utilisent un scanner (Figure 6) pour obtenir l'image positive numérisée en 3D des arcades dentaires ;

*Figure 4 : Porte-empreintes  
D'après L&G® Si Impression material*



*Figure 5 : Empreintes en PVS  
D'après www.juniordentist.com*



*Figure 6: Scanner à empreintes  
D'après « Invisalign® technology in  
orthodontics », par le Dr Rabab Khursheed  
www.slideshare.net/rababkhursheed/invisalign-54350676*



Soit, on réalise directement un scanner intra-oral (iTero®) si le praticien le possède, afin d'avoir directement l'image numérisée en 3D. Ces données sont envoyées avec radiographies et photos du patient (Figures 7, 8 et 9).

*Figure 7 : Console scanner intra-oral iTero*  
D'après [www.itero.com](http://www.itero.com)



*Figure 8: Scanner intra-oral en cours de réalisation*  
D'après [www.cohenortho.com](http://www.cohenortho.com)



*Figure 9: Récepteur scanner intra-oral*  
D'après [www.suttonkidsdental.com](http://www.suttonkidsdental.com)



Un « mordu » est créé : soit directement avec une résine (Figures 10 et 11) ou de façon informatique avec les arcades dentaires modélisées en 3D.

*Figure 10: Réalisation d'un « mordu »*  
D'après « Invisalign® technology in orthodontics », par le Dr Rabab Khursheed



*Figure 11: « mordu »*  
D'après « Invisalign® technology in orthodontics », par le Dr Rabab Khursheed



Nous tendons de plus en plus vers la modélisation 3D et l'intelligence artificielle et donc la technique visant à créer des modèles en plâtre tend à disparaître.

Dans tous les cas, Invisalign® transformera ces étapes d'empreintes en images numérisées pour en arriver au même point qu'avec l'utilisation du scanner intra-oral de façon à visualiser les arcades dentaires du patient à traiter sur l'ordinateur.

Ceci va permettre à un technicien virtuel (VOT) de travailler sur la planification en 3D en association avec l'orthodontiste : le set-up virtuel dynamique.

### 2.3.2. Le Set-Up virtuel dynamique et la conception des aligneurs

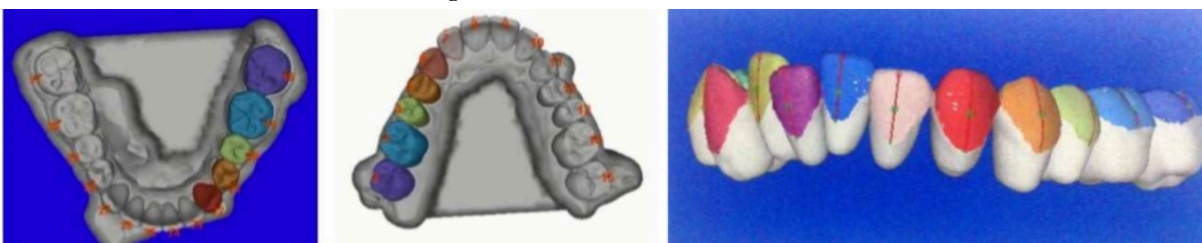
L'ère de l'orthodontie digitale et numérique est arrivée et ceci est dû en parti à Craig Andreiko (18) en 1994 qui a permis de réaliser des appareils orthodontiques sur mesure propre à chaque patient en fonction de l'objectif thérapeutique personnalisé, fixé, et ce, grâce à la technologie CAD-CAM évoquée précédemment.

L'exemple le plus connu de Set-up virtuel dynamique est le ClinCheck® de chez Invisalign®.

Le VOT va traduire les données paracliniques envoyées par l'orthodontiste en langage informatique et notamment séparer les dents sur arcades sur le modèle 3D par l'intermédiaire d'un algorithme. Celui-ci reconnaît les embrasures interproximales, mais également le sillon gingival de façon à placer manuellement le parodonte des 2 arcades. L'axe des couronnes est ensuite déterminé (Figure 12).

#### *Figure 12 : élaboration initiale du ClinCheck® par le VOT*

*D'après « Invisalign® technology in orthodontics », par le Dr Rabab Khursheed  
[www.slideshare.net/rababkhursheed/invisalign-54350676](http://www.slideshare.net/rababkhursheed/invisalign-54350676)*

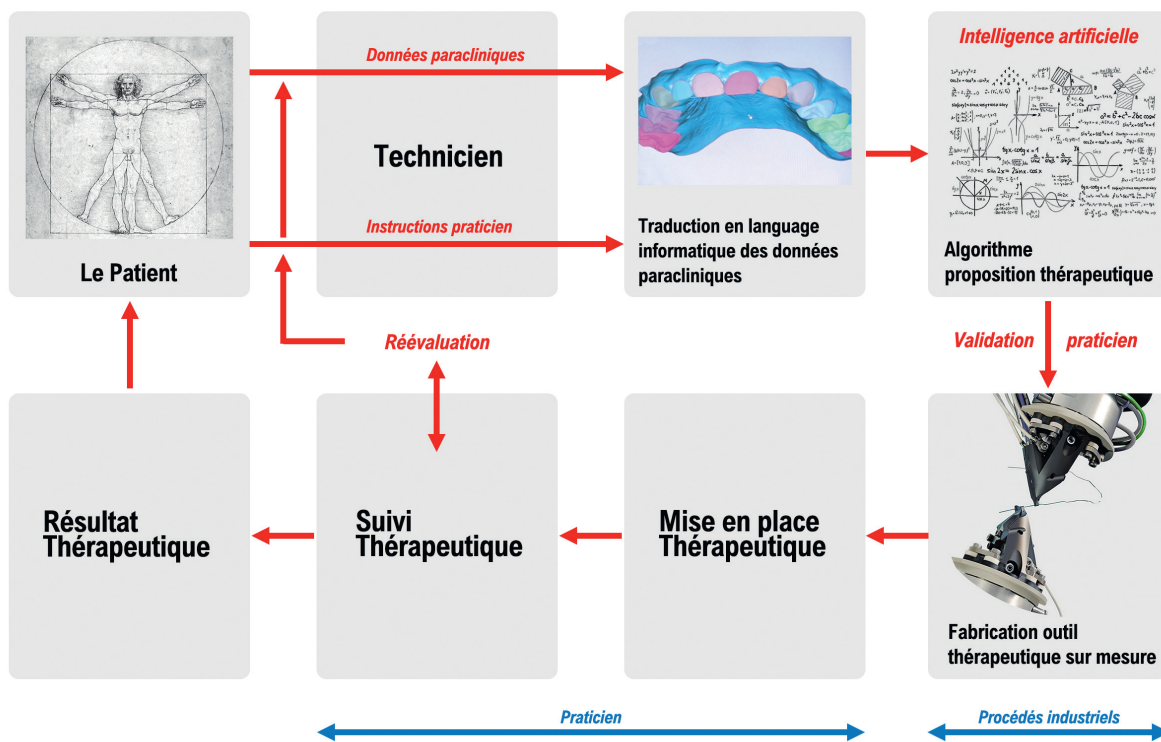


Ces logiciels de planification 3D se servent d'une base de données conséquente permettant de créer des normes et ainsi créer un algorithme thérapeutique permettant d'obtenir le succès thérapeutique personnalisé à chaque patient (menant à l'occlusion voulue).

La genèse de ces algorithmes thérapeutiques provient notamment de l'analyse de Tweed (19) et Steiner (20).

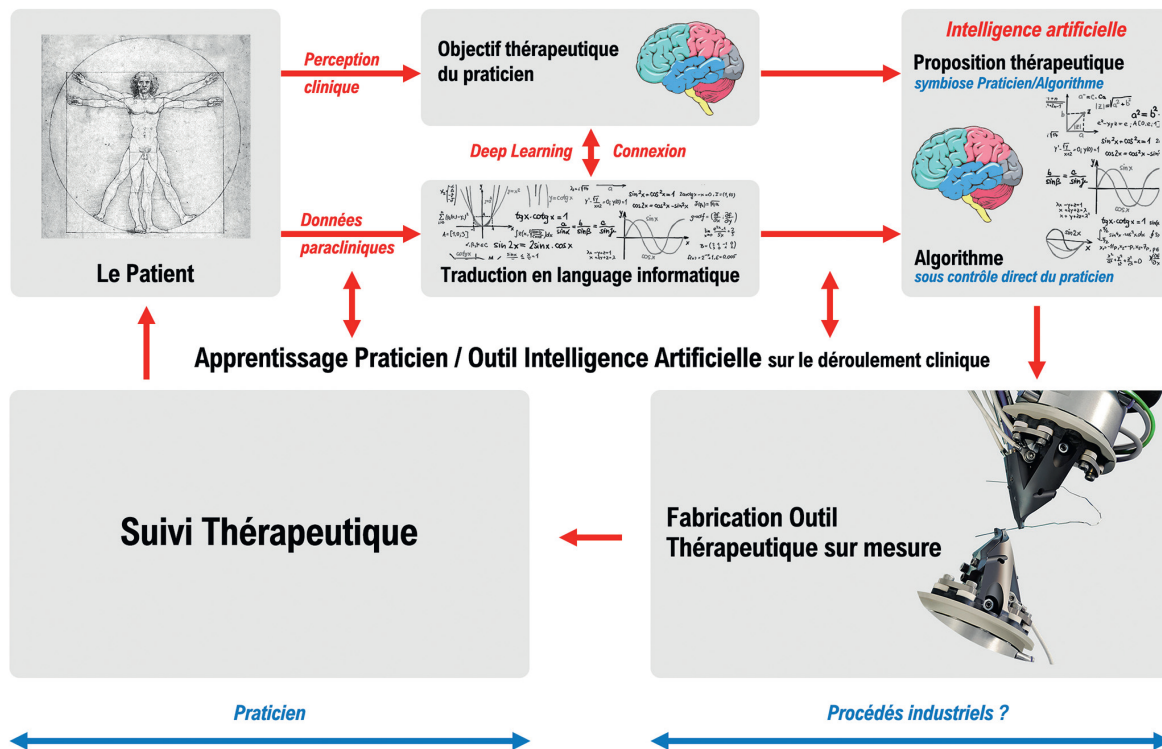
Ce Set-up virtuel, par exemple le ClinCheck®, va donc s'appuyer sur un procédé algorithmique afin d'éviter les interférences occlusales et interproximales de façon à donner une réponse thérapeutique à l'orthodontiste. Ces algorithmes sont le cœur de ces logiciels de set-up qui peuvent s'exprimer grâce à un des piliers de leur conception : l'intelligence artificielle (Figure 13) (21).

*Figure 13 : Image tirée de l'article du Dr Makaremi (21) : « conception actuelle de l'outil thérapeutique orthodontique par procédé CAD/CAM (image procédés industriels : Suresmile Robot) »*



Mais la problématique actuelle est d'associer cette intelligence artificielle avec l'expérience et le ressenti clinique du praticien. C'est pour cela qu'aujourd'hui, la dernière version du logiciel (2014) : ClinCheck Pro®(22) permet à l'orthodontiste d'avoir plus de pouvoir et d'autonomie sur le management du Set-up virtuel dynamique afin d'« optimiser l'interface homme-machine »(21), mais cette voie de recherche est encore en plein essor (Figure 14) (21).

Figure 14 : Image tirée de l'article du Dr Makaremi (21): « Symbiose entre le praticien et l'intelligence artificielle »



L'orthodontiste peut modifier autant de fois qu'il le souhaite ce ClinCheck® envoyé via internet par le VOT.

S'il a l'impression que les mouvements proposés ne se feront pas complètement, ne sont pas physiologiques, ou que les mouvements réalisés nécessitent plus de temps et donc plus d'aligneurs que proposés alors il pourra en réaliser directement la modification.

Le praticien dispose grâce à ce nouveau logiciel d'un arsenal complet pour mener à bien son traitement et son patient en occlusion notamment par la possibilité de rajouter des attaches optimisées (par exemple SmartForce®(23) pour Invisalign®), Precision Cuts pour disposer des élastiques ou encore d'autres auxiliaires comme les Powers Ridges, les Bite Ramps ou les points de pressions, de façon à maîtriser chaque dent dans les 3 plans de l'espace. Chaque attache a une caractéristique particulière et permet d'obtenir, associée ou non à une autre attache, un mouvement

plus ou moins complexe. Le praticien a également la possibilité de réaliser quand il le souhaite des Réductions Amélares Inter-Proximal (triangles noirs, disharmonie dento-dentaire, chevauchement). Ces notions seront détaillées dans le 1<sup>er</sup> article abordant un protocole de prise en charge orthodontico-chirurgical que nous avons créé.

Une fois le ClinCheck® validé par l'orthodontiste, celui-ci est présenté au patient et une fois accepté, le processus de fabrication des aligneurs est lancé. Le patient doit venir systématiquement aux 1<sup>res</sup> consultations pour vérifier que les 1<sup>ers</sup> aligneurs lui vont bien et pour vérifier que les 1<sup>ers</sup> mouvements dentaires obtenus correspondent bien au ClinCheck®. Si durant le suivi, les mouvements dentaires étaient incomplets et que les gouttières ne correspondaient plus à l'anatomie du patient, alors il faudrait procéder à des mid-corrections, c'est-à-dire refaire des empreintes ainsi que des radios et photos pour obtenir un nouveau ClinCheck® et une nouvelle série d'aligneurs, mais ceci a un coût supplémentaire.

Ces gouttières sont fabriquées à partir de la séquence dynamique des 2 arcades créées par le ClinCheck®. Cette séquence est traduite physiquement en résine par stéréolithographie via un automate : « automated aligner-forming system ». Mais Align Technology, inc. s'est initialement servi pendant plusieurs années du système de thermoformage Biostar® décrit par Mac Namara. Chaque aligneur possède une annotation avec les initiales du patient, le numéro du cas, son numéro dans la séquence, sa position (maxillaire ou mandibulaire) marquée par un laser. Les aligneurs sont polis, nettoyés, désinfectés et emballés après avoir été coupés par un autre automate : « Automated Aligner Cutter ». Cette méthode de fabrication est devenue nécessaire pour gagner en rapidité face à l'industrialisation de la Clear Aligner Therapy. C'est ainsi que ces séries de gouttières sont envoyées aux praticiens (Figures 15 et 16).

*Figure 15 : Alineur maxillaire type Invisalign® : vue externe*



*Figure 16 : Alineur maxillaire type Invisalign® : vue interne*



Aujourd'hui la firme Align Technology, inc. est la plus grande production au monde d'objet sur mesure tous domaines confondus grâce au développement de cette technologie CAD-CAM.

À la fin du traitement, la Clear Aligner Therapy propose toujours un moyen de contention après la phase de finition orthodontique par une gouttière appelée Vivera® chez Invisalign®.

Une contention par fil métallique (sur le versant lingual des dents centrales) est très fréquente de nos jours, ou même l'association des deux (Figure 17) (24).

*Figure 17 : Contention par fil métallique*

*D'après l'article du Dr AlKhadra « A simplified technique for chairside bonding of lingual retainer » (24)*





Ce set-up virtuel dynamique est également très intéressant en chirurgie orthognathique pour programmer les mouvements maxillo-mandibulaires voulus. Ces logiciels existent déjà, mais sont sectorisés chacun de leur côté : chirurgie et orthodontie. Il serait intéressant de créer un set-up virtuel dynamique où l'ensemble de la prise en charge puisse se faire dessus, et ce, quel que soit les disciplines requises par le patient : que ce soit, pour la part orthodontique afin de visualiser les résultats voulus, programmer les mouvements dentaires pour y arriver et imprimer de cette façon les aligneurs successifs en fonction du scénario numérique créé, mais aussi pour le set-up chirurgical afin de calculer la quantité de mouvement voulue dans les cas orthodontico-chirurgicaux mais aussi afin de créer des plans d'occlusion chirurgicaux issue de l'impression 3D. Ainsi, ces logiciels deviendraient une réelle boîte de dialogue entre l'orthodontiste, le chirurgien et le technicien. C'est d'ailleurs un des objectifs de cet ouvrage et notamment du 1<sup>er</sup> article : créer un protocole orthodontico-chirurgical chez des patients bénéficiant du traitement combiné par Invisalign® et chirurgie orthognathique afin que l'ensemble des praticiens (chirurgien et orthodontiste de tous niveaux) puissent prendre en charge du même point de vue les patients et selon le même ordre. La boîte de dialogue entre chirurgien et orthodontiste devient alors la même et facilite alors le succès thérapeutique.

## 2.4. Biomécanique de la Clear Aligner Therapy

### 2.4.1. Principes biomécaniques standard et réactions tissulaires (25)

#### 2.4.1.1. Le remodelage ligamentaire et osseux

C'est Angle (26) qui va avoir l'idée du contrôle tridimensionnel des arcades avec appareil multiattaches fixes pour réaliser des déplacements dentaires en 1929. C'est la seule école à employer des forces légères.

2 règles restent immuables, mais paradoxales en orthodontie :

- Réaliser des mouvements dentaires plus ou moins importants en fonction des objectifs
- Et réaliser ces mouvements en s'appuyant sur d'autres zones de l'arcade sans générer de mouvements parasites au niveau des dents d'appuis qui doivent rester immobiles.

Il existe un renouvellement physiologique des différentes structures anatomiques au sein d'une arcade dentaire notamment le ligament alvéolo-dentaire et l'os alvéolaire.

Concernant le remodelage ligamentaire, les fibres de collagène le constituant se renouvellent constamment par l'intermédiaire des fibroblastes qui les produisent et les dégradent. C'est ce ligament (via les fibroblastes) qui dirige l'ostéogénèse afin de protéger la racine de tout phénomène d'ankylose en évitant que les cellules progénitrices d'ostéoblastes ne viennent coloniser le ligament.

En ce qui concerne le remodelage de l'os alvéolaire, 2 éléments cellulaires sont nécessaires : ostéoblastes et ostéoclastes. Le remaniement osseux physiologique se fait selon le mécanisme suivant (ARIF) dans des zones bien précises : le Basic Multicellular Unit (BMU) :

- Activation (recrutement de prostéoclastes, repérage de la zone à résorber et fixation de ceux-ci et fusion pour former des ostéoclastes)
- Résorption (ostéoclastogénèse)
- Inversion (Action des macrophages et recrutement de prostéoblastes pour donner des ostéoblastes)
- Formation (ostéogénèse le long de la ligne cémentante puis minéralisation)

Ces remaniements sont régulés par des hormones et autres facteurs tels que TGF bêta, Interleukines, MetalloProtéase Matricielles de type 2 (MMP-2) et cytokines.

Dans le cadre de l'orthodontie et de l'induction de mouvements volontaires, l'objectif est de reconstituer les mêmes conditions physiologiques que les mouvements dentaires ayant lieu pendant la phase de vieillissement.

Lors de l'application d'une force sur une dent, après une 1<sup>re</sup> phase de déplacement immédiat lié à l'élasticité du ligament alvéolo-dentaire et une déformation de l'os alvéolaire, des phénomènes biologiques vont se mettre en place progressivement sur plusieurs jours, avec pour conséquences,

soit une résorption directe liée à des pressions faibles (inférieure aux pressions capillaires) ou résorption indirecte (ne permettant plus la vascularisation) avec formation d'un tissu hyalinisé. Une force trop importante peut entraîner des phénomènes de résorption radiculaire, des récessions gingivales ou encore une ostéopénie.

C'est ce phénomène de hyalinisation qui est souvent rapporté comme à l'origine de ces complications dans la littérature et par conséquent, les auteurs (27) préconisent une pression inférieure à  $20\text{g/cm}^2$  pour permettre une persistance de la vascularisation et favoriser plutôt une résorption directe. L'inflammation du parodonte (s'ajoutant à celle du remodelage) peut être aussi à l'origine de ces 3 complications, mais également un contact dentaire cortical peut faire augmenter de façon importante les pressions et ainsi favoriser une résorption indirecte (hyalinisation).

Donc pour obtenir un déplacement dentaire rapide, avec une amplitude voulue et sans complication, il faut exercer des pressions inférieures à la pression capillaire afin d'éviter tout phénomène de hyalinisation et ce, en l'absence de tout contexte inflammatoire. Ceci sera repris dans la Clear Aligner Therapy.

#### 2.4.1.2. Forces et moments en orthodontie : définitions

Une force (F) est une charge exercée sur un objet avec une direction, un sens, une intensité et un point d'application. Celle-ci peut être continue ou intermittente.

Il existe des forces orthodontiques (80 à 160g) à action dento-alvéolaire et des forces orthopédiques à action squelettique pure (non traitées dans cet ouvrage).

Le but est d'obtenir des forces orthodontiques constantes avec le meilleur rapport vitesse/force maximale pour déplacer une dent.

Plusieurs forces peuvent être appliquées sur une dent si l'on souhaite réaliser des mouvements plus complexes comme un torque ou une dérotation ; il s'agit alors d'un couple de forces avec un vecteur de sens opposé.

Il existe un point au niveau de la dent où l'application d'une force aboutit à une translation pure : il s'agit du centre de gravité de la dent ou Centre de Résistance (Cr). Ce point se situe sur le tiers coronaire de la racine pour les dents monoradiculées ou à la furcation pour les dents bi ou triradiculées (Figure 18) (28).

*Figure 18 : Position du Centre de résistance (Cr) avec application d'une force à son niveau*

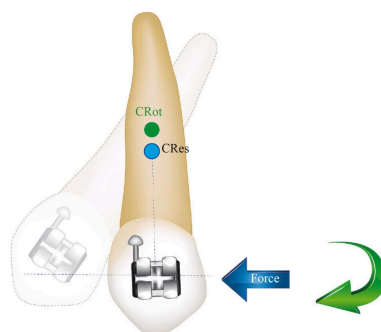
*D'après Caldas et al (28)*



Toute force ne passant pas par Cr provoque une rotation de la dent. Le centre de rotation (CRot) n'est donc pas un point fixe au niveau de la dent et varie en fonction de la force appliquée. Cette rotation se caractérise par le moment de la force (Mf) ou du couple de forces (Mc) (Figure 19).

*Figure 19 : Création d'un moment de force par une force appliquée à distance du Cr (rotation),*

*D'après Caldas et al (28)*



C'est le rapport moment/force qui va permettre de contrôler un mouvement dentaire associé à sa rotation et il faut qu'il soit le plus constant possible.

Dans le cadre d'une bascule non contrôlée, CRot se confond avec Cr.

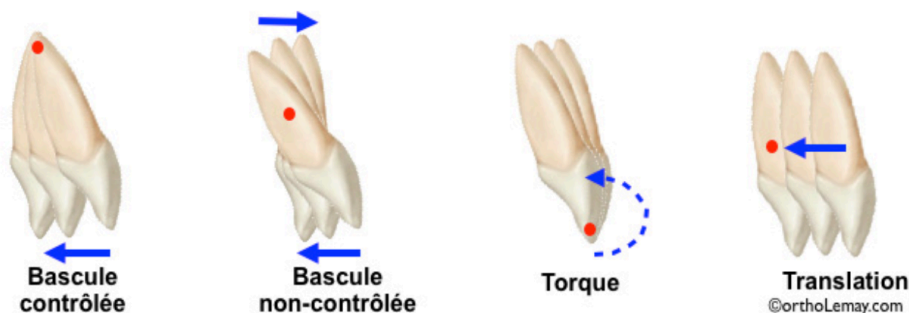
Pour les bascules contrôlées, CRot est au niveau de l'apex.

Pour les mouvements de translation, CRot se situe à l'infini.

Pour les mouvements de torque, CRot se situe sur la partie la plus occlusale de la couronne.

Pour les mouvements de rotations, un couple de forces est nécessaire pour les réaliser (Figure 20).

*Figure 20 : Description des différents mouvements en fonction des forces appliquées (flèches bleues) et de la position du CRot : point rouge*  
D'après le site du Dr Lemay



Ces principes permettent d'obtenir grâce aux appareils fixes conventionnels multiattaches, un contrôle dans les 3 plans de l'espace.

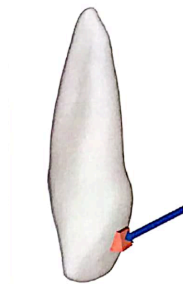
L'ensemble de ces concepts biomécaniques appliqués à l'orthodontie standard (multiattaches) ont été repris pour être appliqués à la Clear Aligner Therapy.

Malgré les idées reçues, la Clear Aligner Therapy permet de générer une ou plusieurs forces concomitantes et de mobiliser une ou plusieurs dents simultanément dans les 3 plans de l'espace.

#### 2.4.2. Forces et moments appliqués à Invisalign® (29)

Les forces développées dans le cadre des aligneurs sont des charges exercées sur les couronnes dentaires (Figure 21).

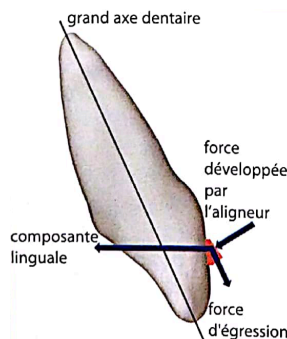
*Figure 21 : Force potentiellement applicable sur une attache collée sur la partie coronaire d'une dent, D'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)*



Par définition, si l'on a besoin d'exercer une ou plusieurs forces sur les surfaces dentaires, alors la conception des aligneurs et la forme de ceux-ci ne peuvent correspondre à la forme des dents. Autrement dit, ces forces sont incorporées dans la gouttière. Ces séries d'aligneurs ne sont pas une suite de formes, mais bien une succession de forces intégrées au sein de chaque aligneur.

En reprenant ces principes biomécaniques, les aligneurs permettent d'avoir un contrôle à la fois sur les couronnes et les racines, dans les 3 dimensions, sans avoir un des inconvénients des appareils multiattaches : le phénomène de friction (Figure 22).

*Figure 22 : Démonstration de la force applicable par un aligneur avec sa composante linguale et sa force*  
*D'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)*



Un point important diffère par rapport aux multiattaches : la force est une force légère et discontinue. En effet, la force exercée décroît de façon exponentielle au cours du port de l'aligneur. Cependant, l'intensité de ces forces se situe dans une catégorie d'intensité similaire à celles générées dans les multiattaches. Ceci a d'ailleurs été démontré dans plusieurs études notamment celle de Simon en 2014, abordant les forces et moments générés dans le cadre de la CAT (30,31).

Par ailleurs, concernant les complications évoquées précédemment, certaines études comparent les traitements multiattaches versus traitement par aligneurs et montrent un taux de résorption radiculaire équivalent lié à des forces et moments similaires (32–34). Tout ce système de forces est au centre des débats et de la recherche dans la Clear Aligner Therapy. En voulant reprendre les principes de base de la biomécanique par multiattaches, certains laboratoires (du domaine de la CAT) ont développé leurs propres attaches pour améliorer et réaliser l'application de forces plus nombreuses et plus complexes tout en limitant certains mouvements parasites. Certaines études se sont intéressées aux attaches développées par Invisalign® à partir de la seconde génération de gouttières. Les 1<sup>res</sup> études, comme celle de Kravitz, montrent qu'il n'y a pas de différence dans la prédictibilité des mouvements avec ou sans attaches (35). Les dernières études (3<sup>e</sup> génération d'aligneurs) montrent une réelle valeur ajoutée de ces attaches « optimisées » notamment dans les

mouvements complexes comme les dérotations de dents rondes avec une diminution de la tendance intrusive de ces aligneurs en présence des attaches (36). Il s'agit d'un des principaux défauts de chez Invisalign® qui tente d'améliorer progressivement ce problème. En effet, Invisalign® produit de petites béances latérales en fin de traitement liées à l'épaisseur des gouttières, nécessitant souvent de petites finitions supplémentaires pour obtenir une intercuspitation maximale.

Le torque, le redressement des racines, les extrusions, les dérotations de dents rondes sont des mouvements où les attaches optimisées deviennent nécessaires pour obtenir une bonne prédictibilité par rapport au ClinCheck®. SmartForce® est la toute dernière version d'attaches optimisées par Invisalign®. Ces innovations permettent d'obtenir des attaches sur mesure en fonction de la morphologie dentaire et du mouvement désiré pour améliorer le contrôle et la précision des déplacements.

Par exemple, on peut traiter efficacement les béances antérieures avec le Multi-tooth Anterior Extrusion Attachment de façon à avoir la même force extrusive appliquée sur chaque incisive (Figure 23).

*Figure 23 : Attaches optimisées : Forces extrusives simultanées et d'intensité égale sur les 4 incisives*

*D'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)*

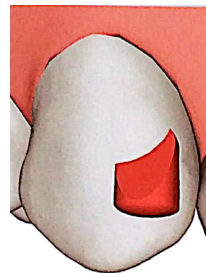




Pour réaliser une dérotation de canine ou de prémolaire, l'utilisation de l'Optimized Rotation Attachment permet de rendre ces rotations beaucoup plus prédictibles en positionnant l'attache sur le tiers occlusal vestibulaire de la couronne de la canine ou prémolaire ; le moment de force résultant permet d'obtenir une rotation de qualité (Figure 24).

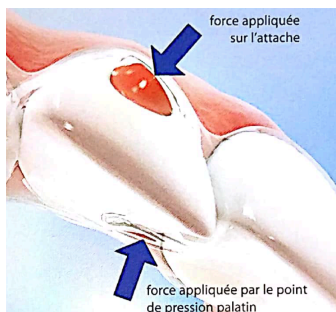
*Figure 24 : Attache de rotation optimisée*

*D'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)*

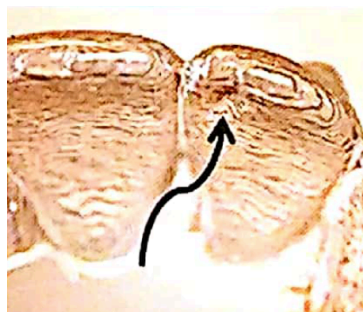


Des mouvements plus complexes peuvent être réalisés ; par exemple pour une incisive latérale maxillaire, on peut exercer une force extrusive tout en ayant une composante rotationnelle associée à un mouvement de bascule vestibulo-linguale. Ceci est permis par la présence simultanée sur l'aligneur d'une attache Multi-plane sur la face vestibulaire associée à un point de pression sur le versant lingual. Par cet exemple, on remarque bien que l'on peut réaliser des mouvements tridimensionnels (Figures 25, 26 et 27 *D'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)*).

*Figure 25 : Attache optimisée Multi-plane*



*Figure 26 : Point de pression lingual*



*Figure 27 : Point de pression lingual*

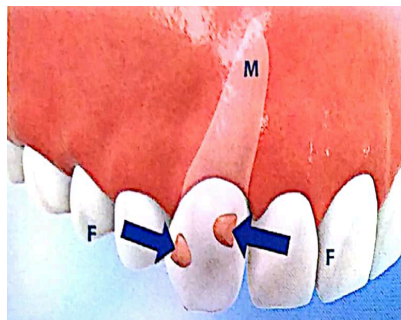


L'utilisation d'attaches Root Control permet d'avoir une bonne gestion du torque et de l'alignement. Ces attaches sont dotées d'un système de forces incluant une composante mésiale ou distale associée

à une composante secondaire pour modifier l'inclinaison d'une dent. Dans ce cas, la force principale s'exerce sur le plot le plus gingival dans la direction du mouvement radiculaire et la seconde force s'applique sur l'attache la plus occlusale afin de réaliser un contre-moment contrôlant le mouvement radiculaire (Figure 28).

*Figure 28 : Attaches optimisées pour le contrôle des racines*

*D'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)*



Les Power Ridges permettent de gérer le torque radiculo-lingual au niveau incisif. Ils sont incorporés au sein même de l'aligneur selon une déformation imprimée au sein de la gouttière. Ils exercent des forces pour contrôler le déplacement des racines en direction linguale tout en respectant la position de la couronne (Figure 29).

*Figure 29 : Power Ridges*

*D'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)*



La gestion des supraclusions peut être réalisée grâce à l'innovation Invisalign® G5.

La supraclusion peut être traitée soit par l'intrusion des dents antérieures et/ou l'extrusion des dents postérieures.

Align technology, inc. a donc mis en place des attaches optimisées au niveau des prémolaires pour réaliser un point d'ancrage des gouttières à leur niveau afin d'émettre une force intrusive de l'aligneur au niveau des incisives antérieures ; en revanche, le vecteur de force résultant n'était pas correctement orienté, ils ont donc rajouté un point de pression sur la face linguale de leurs aligneurs afin que la force soit redirigée le long de l'axe de la dent. On peut activer également ces attaches (prémolaires) servant de points d'ancrage afin d'exercer une force extrusive sur les prémolaires, de façon à mieux niveler (si besoin) la courbe de Spee.

Ils ont également créé les Precision Bite Ramps qui sont des rampes d'occlusions sur la face linguale des incisives maxillaires afin de mettre les dents postérieures en désocclusion et ainsi exercer des forces extrusives postérieures afin de réduire la supraclusion (Figure 30).

***Figure 30 : Precision Bite Ramps***

*D'après Schupp et al, « Les aligneurs en orthodontie » (29)*



Le praticien peut également, s'il le souhaite, utiliser des taquets conventionnels ellipsoïdes (vertical ou horizontal), rectangulaires (vertical ou horizontal) ou rectangulaires biseautés (vertical ou horizontal).

Cependant, ces taquets sont de moins en moins utilisés et sont progressivement supplantés par les attaches optimisées. Le praticien aura la possibilité de les ajouter, supprimer, positionner ou modifier (forme du biseau) comme il le souhaite, directement sur le ClinCheck®.

Les taquets ellipsoïdes horizontaux permettent de réaliser des égressions.

Les taquets ellipsoïdes verticaux peuvent être indiqués pour la rétention des gouttières au niveau des 1<sup>res</sup> prémolaires.

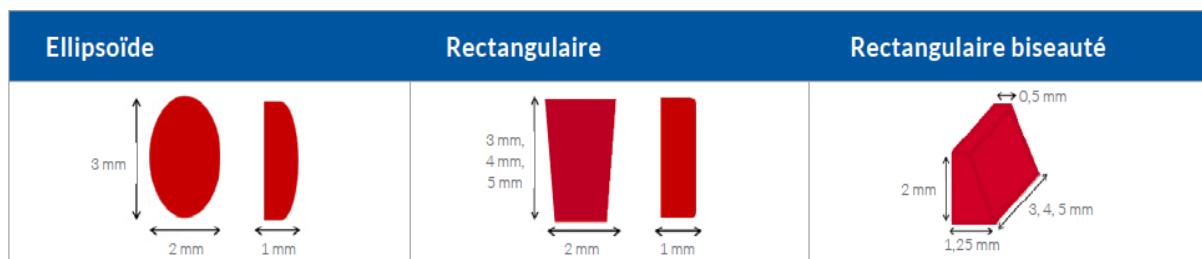
Les taquets rectangulaires horizontaux sont indiqués pour réaliser des égressions et ingressions dentaires. Ces attaches seront placées sur les prémolaires pour ingresser les incisives : elles servent de rétention pour éviter la désinsertion de la gouttière réalisant le mouvement d'ingression (même principe que l'Invisalign® G5). Ces attaches sont également indiquées pour la rétention de la gouttière chez des patients à dents courtes ou hypodivergents, ou sur des dents reconstituées laissant peu de surface de collage.

Les taquets rectangulaires verticaux sont indiqués pour les rotations dentaires : ils sont indispensables sur les canines et prémolaires (notamment les 2<sup>es</sup> prémolaires mandibulaires, très rondes). Ils sont également indiqués dans les cas d'extractions et peuvent intervenir dans le contrôle des axes dentaires.

Les taquets rectangulaires biseautés permettent la rétention des gouttières tout en évitant des interférences occlusales pouvant entraîner une usure prématurée ou un décollement. Ces attaches sont très utiles en cas de forte supraclusion dans les classes II, division 2 (Figure 31).

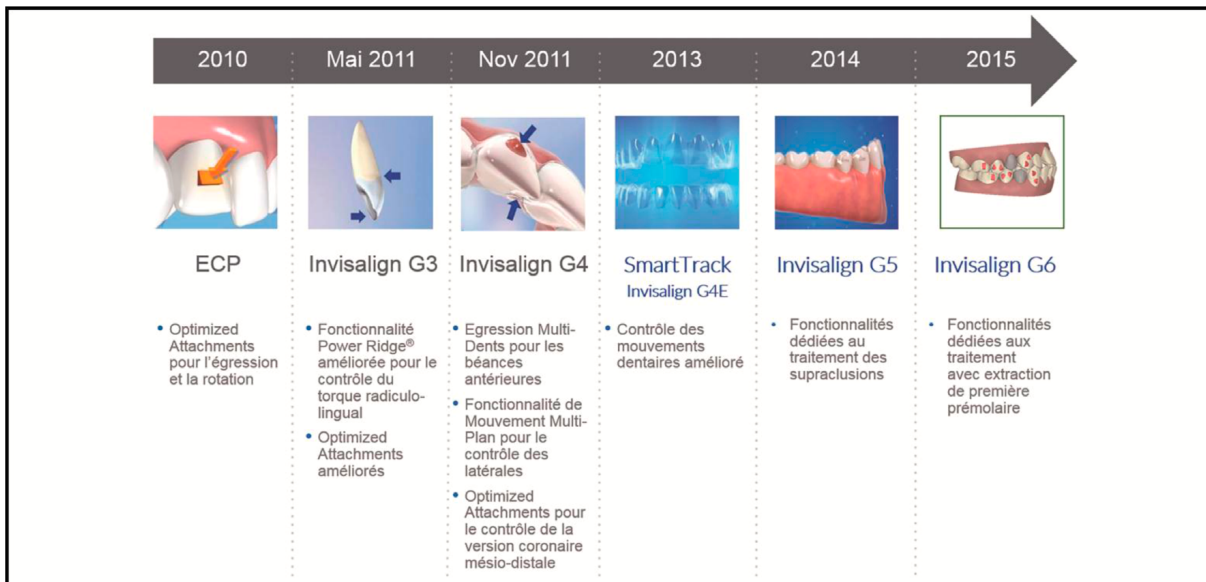
*Figure 31 : Taquets conventionnels pouvant être prescrit en substitution ou en plus des fonctionnalités SmartForce® et des autres auxiliaires.*

*Source Align Technology, Inc.*



La figure suivante présente les différentes attaches et autres innovations réalisées par Invisalign® que nous venons d'évoquer (Figure 32) (37).

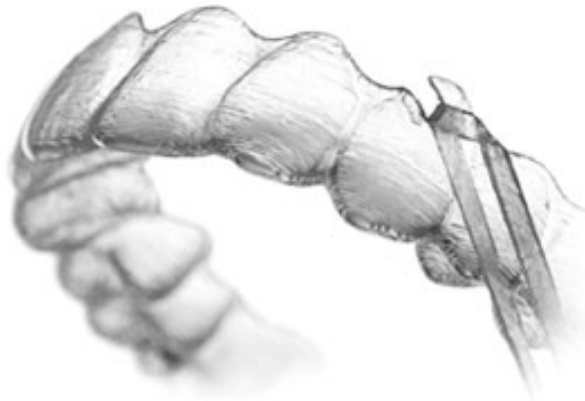
*Figure 32 : Evolution et innovations Invisalign®, d'après l'article de Chazalon et al (37)*



Invisalign® permet également au praticien d'avoir recours à des auxiliaires tels que des élastiques, boutons ou boîtiers.

En effet, Invisalign® peut ajouter sur l'aligneur des Precisions Cuts (Figure 33) permettant de réaliser des tractions par élastiques intermaxillaires afin de contrôler l'ancrage ou de réduire un décalage dentaire.

*Figure 33 : Precision Cuts,*  
D'après « Invisalign® G3 »,  
[www.invisalign.co.nz/doctor/doc/brochures/G3\\_brochure.pdf](http://www.invisalign.co.nz/doctor/doc/brochures/G3_brochure.pdf)



Invisalign® permet aussi l'ajout de boutons collés céramiques ou métalliques grâce à la pince de Hilliard qui permet de réaliser des trous sur les gouttières à l'emplacement voulu (Figure 34).

*Figure 34 : Pince de Hilliard,*  
D'après [www.dentsplygac.at/sites/all/files/userfiles/shared/07\\_instruments-2017-lowres.pdf](http://www.dentsplygac.at/sites/all/files/userfiles/shared/07_instruments-2017-lowres.pdf)



C'est le praticien lui-même qui doit réaliser ces trous. Le ClinCheck® ne permet pas encore d'anticiper ces trous. Ces boutons pourront être utilisés dans le cadre du blocage intermaxillaire par fils métalliques lors de chirurgies orthognathiques que nous développerons plus tard dans cet ouvrage. Ils permettent également le port d'élastiques intermaxillaires en post opératoire de ces chirurgies (Figure 35).

*Figure 35 : Fenêtres réalisées au sein des gouttières laissant la place aux boutons*



Depuis la création du système de forces avec attaches optimisées, la prédictibilité des mouvements s'est améliorée avec un meilleur contrôle de la position des racines (38).

Lorsque les arcades du patient sont numérisées et apparaissent en 3D, la position initiale des dents est analysée et le logiciel ClinCheck® quantifie les déplacements à réaliser selon l'algorithme évoqué précédemment. Le logiciel va alors aligner, niveler et mettre les arcades en occlusion selon la classe I d'Angle. L'ensemble des mouvements sont calculés à ce moment-là pour chaque dent ; ainsi les combinaisons de forces nécessaires pour réaliser ces mouvements sont déterminées, et incorporées dans la succession d'aligneurs, permettant d'ajouter automatiquement les différentes attaches optimisées et autres auxiliaires au sein du ClinCheck®. La série va pouvoir alors être fabriquée, en fonction de ce système de forces, afin d'arriver au résultat désiré.

Cependant, l'orthodontiste garde un contrôle quasi-total sur le déroulement du traitement puisqu'il peut modifier la position de toutes ces attaches, mais il ne peut en aucun cas les placer n'importe où. En effet, le logiciel est programmé de telle sorte que ces SmartForce® soient placées à un endroit où elles ne créeront pas d'interférence. S'il n'est pas d'accord avec le VOT, alors il le signale en commentaire de façon à ce que ses desiderata soient appliqués.

## 2.5. Avantages et efficacité de la Clear Aligner Therapy

### 2.5.1. Avantages

On observe une recrudescence des demandes concernant le recours à la Clear Aligner Therapy. En effet, les praticiens font face à une patientèle toujours plus exigeante et renseignée sur les dernières technologies.

Cette solution orthodontique correspond de plus en plus aux attentes de ces patients qui souhaitent un appareil esthétique (invisible), confortable et facile à utiliser et notamment amovible, un des principaux avantages de cette technique.

La littérature foisonne d'article à ce sujet.

Nedwed (39) dans son étude, relève que 83% des patients s'adaptent en moins d'une semaine aux aligneurs et ont de faibles douleurs (voire même absentes). 93% des patients se sentent assez en sécurité pour parler sans appréhension de perdre les gouttières. White (40) en 2017, réalise également une étude comparative sur les douleurs liées au port des gouttières et montre que les patients traités par appareils multiattaches présentent plus d'inconfort et consomment plus d'antalgiques que dans le groupe Invisalign®.

L'étude de Miller (16) révèle également que les traitements par CAT provoquent moins de douleurs que les traitements conventionnels et montre que les aligneurs ont un impact psychosocial bien plus favorable sur les patients qu'avec un traitement par multiattaches. D'ailleurs, l'étude de Jeremiah (41) corrobore ses propos avec les perceptions sociales des différents types d'orthodontie (CAT, appareils multiattaches métalliques, céramiques ou linguales) où la CAT (avec les appareils linguaux) semble être plus séduisante que les autres solutions orthodontiques avec une amélioration du profil psychosocial et intellectuel vu de l'extérieur.

En ce qui concerne l'hygiène bucco-dentaire, la méta-analyse de Lu (42) montre que la santé parodontale est meilleure chez les patients traités par aligneurs par rapport aux patients traités par multiattaches. L'équipe de Karkhanechi (43) est en adéquation avec ces résultats et montre que les



patients traités par appareil labial fixe ont une diminution de la qualité du statut parodontal avec une augmentation du niveau de bactéries parodontogènes.

Azaripour (44) retrouve également ces résultats sur le statut parodontal, mais évalue également la satisfaction des patients (par un questionnaire sur leur qualité de vie) traités soit par Invisalign® soit par appareils fixes.

On peut observer des scores de qualité de vie plus élevés dans le groupe Invisalign® comparé au groupe multiattaches avec par conséquent, une plus grande satisfaction des patients traités par CAT. Cette solution orthodontique serait plus rapide qu'un traitement conventionnel et plusieurs articles que nous évoquerons plus tard viennent corroborer ce propos et notamment la méta-analyse de Zheng (45) qui montre qu'un traitement conventionnel est nettement plus long qu'un traitement par aligneurs.

D'ailleurs, l'une des dernières innovations d'Invisalign® concerne la durée du port de la gouttière et la durée totale de traitement. Depuis la création de l'Invisalign® G7, le temps de port par aligneur est divisé par 2 avec, par conséquent, une durée totale de traitement diminuée de moitié tout en gardant la même prédictibilité de mouvements (46,47).

Pour finir, Buschang (48) dans son étude démontre que la CAT requiert moins de temps au fauteuil pour le praticien, que le patient nécessite moins de visites de contrôle et que celles-ci sont plus courtes que pour les appareils fixes. Il démontre également que les patients traités par appareils fixes sont plus amenés à consulter en urgence que les patients traités par aligneurs.

Tous ces arguments expliquent pourquoi il existe toute cette émulation autour de la Clear Aligner Therapy et pourquoi le nombre de patients demandeurs augmente chaque année.

### 2.5.2. Efficacité

L'efficacité de la CAT a suscité beaucoup de controverses sur les 2 dernières décennies.

Comme nous l'avons expliqué précédemment, la CAT et notamment Invisalign®, investie énormément dans la recherche scientifique et l'amélioration de ses aligneurs. Align Technology,

inc. s'adonne particulièrement à la création d'innovations. Leur objectif est d'améliorer l'application et la précision de leurs forces afin de réaliser des mouvements plus complexes et prédictibles par rapport au ClinCheck®.

Nous détaillerons de façon plus importante l'efficacité des aligneurs dans la discussion du 2<sup>e</sup> article de cet ouvrage.

Nous citerons simplement l'étude de Gu (49), qui a réalisé une étude rétrospective sur 1500 patients traités par appareils multiattaches versus 250 patients traités par Invisalign®. L'étude révèle qu'il n'existe aucune différence statistiquement significative matière d'efficacité entre ces 2 solutions orthodontiques en utilisant le Peer Assessment Rating Index (PAR Index).

Devant tous ces avantages : esthétique, confort, impact psychosocial favorable, hygiène bucco-dentaire respectée avec maintien de la santé parodontale, facilité d'utilisation pour le patient, suivi plus simple pour l'orthodontiste et le patient, on peut se poser la question de l'usage de la Clear Aligner Therapy dans le cadre de la préparation orthodontique en vue d'une chirurgie orthognathique. En effet les études récentes montrent qu'en plus d'avoir ces avantages, ces aligneurs peuvent s'avérer réellement efficaces. Il convenait de réaliser une étude dans le cadre des dysmorphoses dento-squelettiques afin d'évaluer l'efficacité sur le plan orthodontique, mais aussi sur la stabilité des résultats.

Si la CAT possède beaucoup d'avantages, il existe cependant des limites.

## 2.6. Limites de la Clear Aligner Therapy

Il est tout d'abord primordial de signaler que les patients nécessitent une observance rigoureuse du traitement puisque ces gouttières doivent être portées minimum 22h/24, pour obtenir la totalité des mouvements prédits (0,25mm par dent et par gouttière). Ceci est la principale limite de cette technique puisque le succès thérapeutique est avant tout patient dépendant ce qui signifie que

l'orthodontiste doit sélectionner ses patients. L'orthodontiste perd finalement un certain contrôle sur le patient et sur le management de ce traitement.

Une étude (50) s'est intéressée aux complications cliniques que peuvent provoquer la Clear Aligner Therapy. Ces complications ont été rapportées auprès de la base de données MAUDE (Manufacturer and User facility Device Experience) de la Food and Drug Administration (FDA). Les principaux effets secondaires rapportés sont les suivants : difficultés respiratoires (sur pertes des gouttières amovibles avec obstruction des voies aériennes supérieures), irritations des voies aériennes supérieures, œdème pharyngé et lingual et anaphylaxie lié à une allergie au polyuréthane. Les gouttières sont également pourvoyeuse de caries puisque ces aligneurs séparent les dents des sécrétions salivaires nécessaires à la lubrification et à la protection dentaire.

Une des limites actuelles est que les orthodontistes qui pratiquent pour la plupart de façon courante l'orthodontie avec appareils multiattaches ne sont pas encore assez expérimentés et formés à la pratique de la CAT et à la gestion du ClinCheck® et par conséquent on peut suspecter que les résultats sont en deçà de ce que ferait un praticien avec une expérience importante de la CAT et du ClinCheck®.

La Clear Aligner Therapy peut être accessible à tous praticiens exerçant dans le domaine dentaire et par conséquent celle-ci est non limitée aux orthodontistes ce qui fausse une grande partie des études disponibles au sein de la littérature puisque la plupart sont réalisées par des dentistes. Ceux-ci ne connaissent pas forcément les principes biomécaniques de base de l'orthodontie ni même les techniques standard par appareils fixes. Aussi, la sélection des patients et l'orientation de ceux-ci vers telle ou telle solution orthodontique nécessitent une réelle expertise que seuls les orthodontistes possèdent. Tous ces éléments permettent d'affirmer que les résultats obtenus par un omnipraticien utilisant la CAT sont limités par ce manque de connaissances fondamentales et d'expériences dans ce domaine ne permettant pas d'obtenir des résultats aussi efficaces que ceux d'un praticien

spécialisé en Orthopédie Dento-Faciale (ODF). D'ailleurs, l'article paru en 2017 de Best (51) vient corroborer ces propos.

L'autre limite, est que lorsque le ClinCheck® est créé, les aligneurs sont fabriqués et aucune modification n'est possible en cours de traitement comme pour les systèmes multiattaches, sauf si le praticien réalise des « mid-corrections » qui nécessitent de tout recommencer depuis le début (examens cliniques, photos, radios, scanner intra-oral) avec un coût supplémentaire évidemment. Cela signifie que l'orthodontiste doit, de façon prospective, formuler un plan de traitement précis.

En 1998, une étude comparant les contentions Essix® et de Hawley, montrait qu'un sixième des patients perdaient leurs gouttières. La plupart de ces patients ont déclaré que c'était à cause du fait qu'elles étaient amovibles et transparentes (52). Ceci peut être transposé à la Clear Aligner Therapy. Enfin, le Docteur Phan (15) en 2007 réalise une revue de la littérature et évoque plusieurs situations où la Clear Aligner Therapy n'est pas optimale :

- les cas d'extraction : la réalisation de fermeture d'espace dans les cas d'extraction de prémolaires sans bascule, semble compliquée (53)
- les cas d'infraclusion où l'équipe de Clements ne trouvait pas d'amélioration significative (54)
- les supraclusions avec la thèse de Kamatovic en 2005 (55)

Le Docteur Phan rapporte également une tendance à l'intrusion dentaire postérieure (0,25 à 0,5 mm) liée à l'épaisseur des gouttières et qu'il est à chaque fois nécessaire de réaliser des ajustements en fin de traitement, notamment couper les aligneurs en distal des canines de façon à obtenir une éruption passive des dents postérieures (15).

Mais toutes ces études datent d'il y a plus de 10 ans et ont étudié les deux 1<sup>res</sup> générations de gouttières moins efficaces. Aucune étude n'a depuis réalisé un recensement des limites de la Clear Aligner Therapy avec les dernières innovations évoquées dans les chapitres précédents notamment avec la 3<sup>e</sup> génération de gouttières. Il est évident que cette liste de limites s'est probablement restreinte depuis quelques années comme le suggère Hennessy (36) dans son étude récente datant de 2016 décrivant les 3 générations de gouttières.

Une limite importante est également à prendre en compte puisqu'elle est liée à l'ère du numérique. Nous évoquions précédemment l'intelligence artificielle comme nécessaire dans la conception du logiciel permettant de concevoir une série d'aligneurs selon un algorithme prédéterminé. Cela signifie que le logiciel, notamment le ClinCheck®, n'a pas la capacité de comprendre et de s'adapter puisque l'intelligence artificielle ne rentre pas dans la boucle :

Patient => Orthodontiste => ClinCheck® => Technicien virtuel.

Donc finalement, l'algorithme va aligner, niveler et mettre le patient en occlusion à tout prix. Mais dans le cadre d'une préparation orthodontique en vue d'une chirurgie orthognathique, on peut s'attendre à ce que le logiciel applique cet algorithme qui ne comprend pas la nécessité de réaliser des décompensations de classes II ou classes III en vue de remettre les axes incisifs en bonne position. Par conséquent, le décalage antéro-postérieur réel (après décompensation) est masqué par une insuffisance de redressement des axes incisifs empêchant la réalisation d'une correction chirurgicale optimale du fait que le logiciel n'a pas l'intelligence du praticien qui a discuté avec le chirurgien du projet chirurgical. Il est donc nécessaire d'avoir recours à un orthodontiste expérimenté, notamment dans la CAT, pour anticiper ces décompensations, voire même les surcorriger afin d'améliorer la prédictibilité des résultats. Donc, il existe des améliorations à réaliser dans le set-up virtuel dynamique pour optimiser l'interface et le dialogue entre orthodontiste, chirurgien et technicien virtuel.

La principale limite qui n'a pas changé au fil des décennies, est le coût de la CAT qui est un facteur toujours aussi limitant pour le patient.

## 2.7. L'American Board of Orthodontics (ABO) (56) : scores d'évaluation standardisés utilisés dans notre étude

### 2.7.1. Généralités

C'est en 1929 que cette organisation fût créée dans le but de délivrer le plus haut degré de certification dans le domaine de l'orthodontie aux États-Unis. C'est en 1950 que l'American Dental Association a reconnu l'ABO comme agence officielle de certification des orthodontistes. C'est Charles Henry Tweed qui a été le 1<sup>er</sup> à hériter de ce statut d'orthodontiste qualifié. C'est cette agence qui va dès 1994, allouer du temps à la recherche d'une méthode objective d'évaluation clinique des résultats orthodontiques.

D'autres méthodes telles que le Peer Assessment Rating Index (PAR Index) étaient utilisées dès 1987 pour évaluer l'occlusion avant et après traitement, mais ce score manquait de précision.

Les investigations de l'ABO, ont permis d'aboutir à un score validé et reproductible en 1999 : le Discrepancy Index (DI) pour l'évaluation initial des cas (sévérité des malocclusions) et le Model Grading System (MGS) ou Objective Grading System (OGS) ou encore appelé Cast-Radiograph Évaluation Score (C-R Eval Score) pour évaluer le succès ou l'échec thérapeutique selon plusieurs critères orthodontiques radio-cliniques.

### 2.7.2. Score d'évaluation initial des malocclusions : Discrepancy Index (DI)

Un praticien souhaitant obtenir la certification de l'ABO doit présenter ses propres résultats orthodontiques. Le candidat doit présenter 6 cas avec malocclusions de complexités différentes graduées à l'aide du Discrepancy Index (DI).

Le DI reprend différents critères correspondant aux anomalies dentaires initiales à cibler lors du traitement orthodontique : surplomb horizontal (overjet), surplomb vertical (overbite), béance antérieure (anterior open bite) , béance latérale (lateral open bite), encombrement (crowding), relation occlusale (occlusal relationship), articulé croisé postérieur lingual (lingual posterior cross-

bite), articulé croisé postérieur buccal (buccal posterior cross-bite), données céphalométriques (cephalometrics datas), et la catégorie : autre (other) dans laquelle on retrouve : dent surnuméraire, dent permanente ankylosée, anomalie morphologique, dent incluse (excepté les 3<sup>es</sup> molaires), décalage du point interincisif de plus de 3mm, dent manquante (excepté les 3<sup>es</sup> molaires), dent manquante congénitale, espace sur au moins 4 dents de la même arcade , diastème maxillaire supérieur ou égal à 2mm, transposition dentaire, asymétrie squelettique non chirurgicale, complexités thérapeutiques supplémentaires.

Plus le DI est élevé et plus la complexité du cas est importante. C'est ce score que nous avons utilisé dans notre 2<sup>e</sup> article pour évaluer la complexité de nos cas et savoir si nos 2 groupes étaient comparables. La figure suivante présente la grille d'évaluation du DI (Figure 36) :

Figure 36: Grille d'évaluation du Discrepancy Index (DI)

Disponible sur [www.americanboardortho.com](http://www.americanboardortho.com)

EXAM YEAR \_\_\_\_\_

**ABO DISCREPANCY INDEX**

ABO ID # \_\_\_\_\_

CASE# \_\_\_\_\_

PATIENT \_\_\_\_\_

**TOTAL D.I. SCORE**

*For mm measures, round up to the next full mm.  
Examiners will verify measurements in each category.*

**OVERJET**

- ≥ 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

**OVERBITE**

- > 1 to ≤ 3 mm = 0 pts
- > 3 to ≤ 5 mm = 2 pts
- > 5 to ≤ 7 mm = 3 pts
- Impinging (100%) = 5 pts

Total

**ANTERIOR OPEN BITE**

0 mm (edge-to-edge), 1 pt per tooth = \_\_\_ pts  
then 1 pt per mm per tooth = \_\_\_ pts  
Total

**LATERAL OPEN BITE**

≥ 0.5 mm, 2 pts per mm per tooth  
Total

**CROWDING** (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

**OCCUSAL RELATIONSHIP**

- 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

**LINGUAL POSTERIOR X-BITE**

> 0 mm, 1 pt per tooth Total

**BUCCAL POSTERIOR X-BITE**

> 0 mm, 2 pts per tooth Total

**CEPHALOMETRICS** (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

**OTHER** (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



### 2.7.3. Score d'évaluation final orthodontique : Objective Grading System (OGS)

Pour être certifié par l'ABO, le candidat doit se présenter à un examen écrit et à un examen clinique.

L'examen clinique se déroule de la façon suivante : 6 cas cliniques sont présentés avec pour chacun 4 étapes à réaliser :

- Description du cas : Written Case report
- Évaluation de la complexité du cas selon le DI
- Évaluation des résultats à la fin du traitement orthodontique à l'aide des moulages en plâtre et des radiographies : Cast-Radiograph Evaluation Score (C-R Eval Score ou OGS).
- Évaluation des changements squelettiques, dentaires et faciaux du cas. : Case Management Form (CMF)

Les mesures du DI et du C-R Eval Score doivent se faire à l'aide d'une gauge de l'ABO (Figure 37) permettant de réaliser des mesures répétables et reproductibles.

*Figure 37 : Gauge de l'ABO*



Le candidat peut s'entraîner à réaliser des mesures pour gagner en précision grâce au kit de Calibration qui comprend cette gauge et 3 modèles en plâtre (cas cliniques différents) prémesurés, où le candidat pourra vérifier si ces mesures se rapprochent progressivement des évaluations réalisées préalablement par les experts.

C'est de cette façon que les 2 examinateurs de notre 2<sup>e</sup> étude se sont entraînés avant de réaliser l'évaluation de nos cas.

Le C-R Eval Score comprend 8 critères : l'alignement, les crêtes marginales, l'inclinaison bucco-linguale, les contacts occlusaux, la relation occlusale, l'overjet, les contacts interproximaux et l'inclinaison des racines (évaluation sur panoramique dentaire).

Plus le score OGS est élevé et moins le cas se rapproche du succès thérapeutique.

Des seuils ont été définis par l'ABO pour définir le succès thérapeutique.

Si l'OGS est inférieur à 20 points alors le cas est une réussite orthodontique complète (dans le cadre du board, le candidat serait certifié d'office).

Si l'OGS se situe entre 21 et 29, il s'agit alors d'une situation borderline où l'ABO étudie au cas par cas les candidats. En général, les scores en dessous de 27 ont un avis favorable et entre 27 et 30, il existe une part non négligeable d'échec.

Si l'OGS est supérieur ou égal à 30, alors il s'agit d'un échec thérapeutique (le candidat se verrait non reçu d'emblée à l'examen) (57).

C'est avec ce score et ces différents seuils que nous avons évalué nos cas à la fin de leur préparation orthodontique dans notre 2<sup>e</sup> étude. La figure suivante présente la grille d'évaluation du C-R Eval Score (Figure 38).

*Figure 38: Grille d'évaluation du Cast-Radiograph Evaluation Score,  
Disponible sur [www.americanboardortho.com](http://www.americanboardortho.com)*

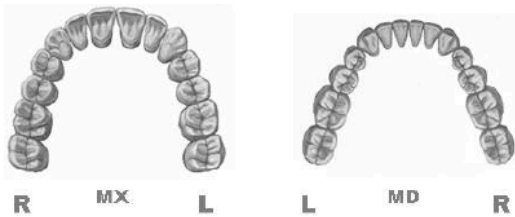
4-12-2010 for print use only.  
For electronic submission requirement -  
use ABO Case Report Work File (pdf).

**ABO Cast-Radiograph Evaluation**

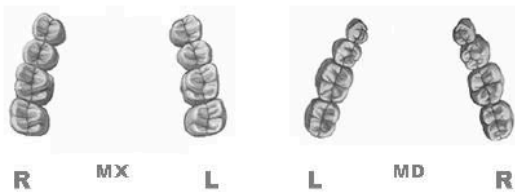
Case #  Patient

Total C-R Eval Score:

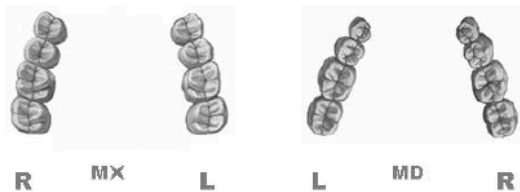
**Alignment/Rotations**



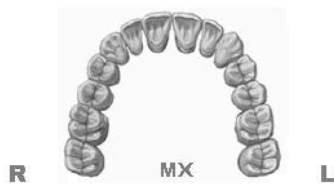
**Marginal Ridges**



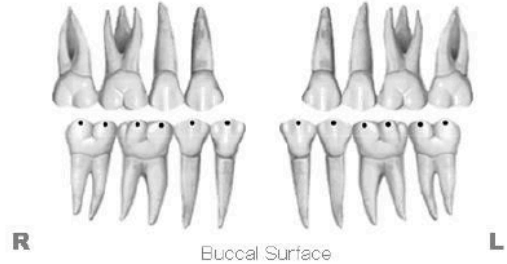
**Buccolingual Inclination**



**Overjet**



**Occlusal Contacts**



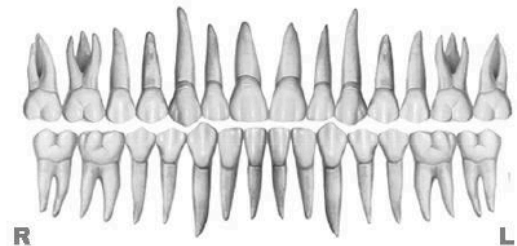
Buccal Surface

Lingual Surface

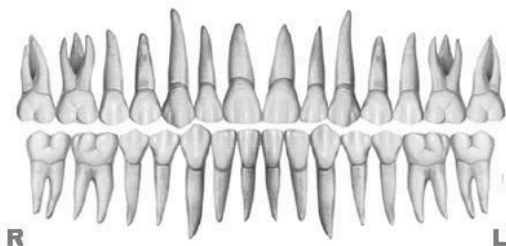
**Occlusal Relationships**



**Interproximal Contacts**



**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.

Nous le répéterons plus tard, mais nous avons préféré réaliser notre 2<sup>e</sup> étude sur modèles en plâtre plutôt que modèles numériques, car la précision était plus importante (58).

Cet ouvrage aborde le traitement combiné par CAT et chirurgie orthognathique, donc après ces rappels concernant l'orthodontie et la CAT, il convient de recentrer le sujet de cet ouvrage et d'appliquer cette préparation orthodontique dans le contexte de la chirurgie. Il convient tout d'abord d'expliquer les différentes techniques chirurgicales auxquels nous avons eu recours.

## 2.8. Techniques chirurgicales (59,60) :

Nous n'allons pas exposer dans cet ouvrage l'histoire de la chirurgie orthognathique ni l'ensemble des techniques de chirurgie orthognathique, mais uniquement celles que nous avons utilisées pour réaliser notre étude.

Pour l'ostéotomie sagittale, nous avons utilisé la technique modifiée d'Obwegeiser-Dalpont. Pour l'ostéotomie maxillaire, nous avons utilisé la plus répandue : l'ostéotomie de Le Fort I. Nous développerons également les gestes associés que nous avons été amenés à réaliser pour certains cas de notre étude : disjonction intermaxillaire, génioplastie et contraction mandibulaire.

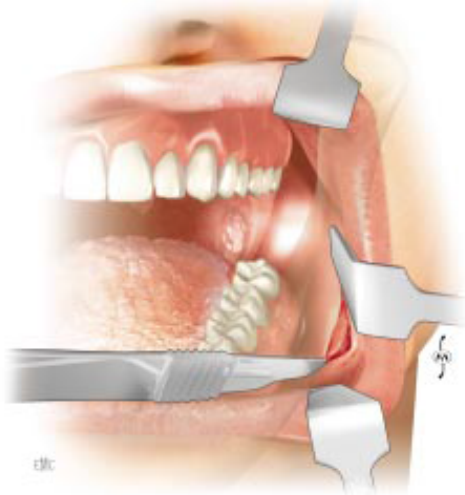
### 2.8.1. Ostéotomie sagittale bilatérale de mandibule (OSBM)

L'intervention commence toujours par l'ostéotomie sagittale bilatérale de mandibule même si une ostéotomie maxillaire devait être réalisée durant la procédure. C'est cette procédure que nous avons choisi de réaliser dans notre étude bien qu'il en existe d'autres où la plupart des chirurgiens commencent par le maxillaire.

Il consiste en une séparation de la branche montante de mandibule en 2 valves.

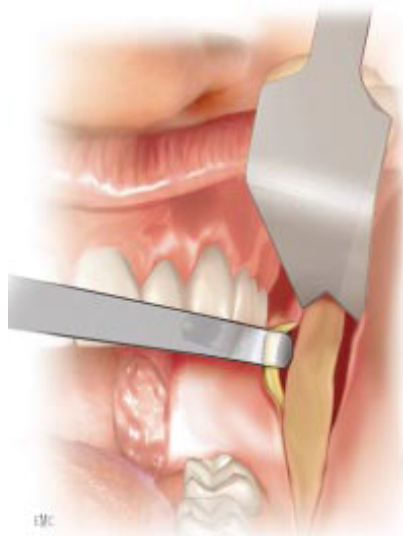
On réalise une incision vestibulaire postérieure sur le versant jugal (jusque l'aplomb de la 1<sup>re</sup> molaire) permettant de garder un lambeau commissural avec assez de laxité pour la suture finale (Figure 39) (61).

*Figure 39 : Incision vestibulaire postérieure,  
D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)*



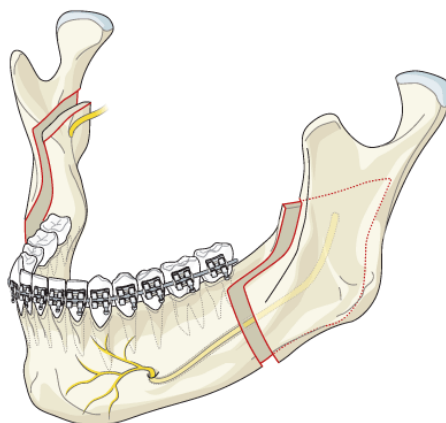
On incise ensuite le muscle buccinateur pour atteindre le plan osseux. On réalise un décollement sous-périosté de façon à libérer l'os sur sa partie latérale (par rapport au masséter), sur son bord antérieur jusqu'au coroné et sur la face interne au-dessus de l'épine de Spix de façon à protéger l'entrée du nerf alvéolaire inférieur (Figure 40)(61).

*Figure 40 : Décollement sous-périosté et  
exposition osseuse.  
D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)*



Le tracé d'ostéotomie est ensuite réalisé à l'aide du piézotome selon le principe suivant illustré par la figure ci-dessous (Figure 41).

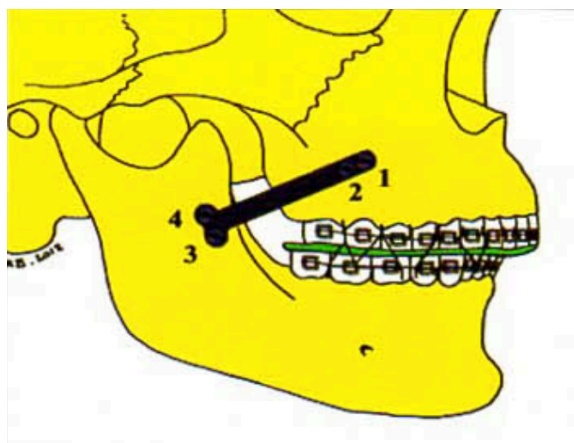
*Figure 41: Tracé d'ostéotomie selon la technique d'Obwegeser-Dalpont modifiée, D'après le site : [www2.aofoundation.org](http://www2.aofoundation.org)*



La corticotomie interne est d'abord réalisée en sus-siguien, de façon horizontale puis la corticotomie antérieure le long de la ligne oblique externe puis la corticotomie externe avec un trait préangulaire à l'aplomb de la dent numéro 7 ou 6 en fonction de l'amplitude du mouvement voulu. Ce tracé est celui décrit initialement par Obwegeser (62) puis modifié par Obwegeser et Dalpont (63).

Une fois le tracé effectué, le clivage n'est pas réalisé tout de suite de façon à repérer préalablement la position des condyles (Figure 42) (59).

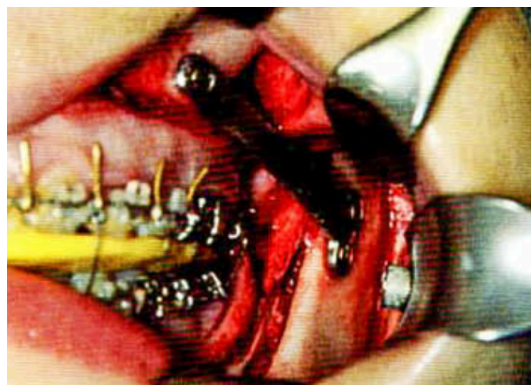
*Figure 42 : Principe du repérage condylien, D'après le livre du Pr Béziat : « Chirurgie orthognathique piézoélectrique » (59)*



Pour cela, le chirurgien doit réaliser un blocage maxillo-mandibulaire sur le plan de morsure initial à l'aide de fils métalliques et repérer la position des condyles par la fixation d'une plaque en T sur chaque branche montante avec un point d'ancrage maxillaire homolatéral. Le point d'ancrage maxillaire est recherché après avoir incisé le vestibule maxillaire et fait un décollement sous-périosté pour exposer l'apophyse pyramidale qui sera l'emplacement des 2 trous de forage maxillaire permettant de mettre 2 vis. La fixation au niveau de la branche montante se fait à l'aide d'une incision transfixiante au niveau jugal puis par la mise en place d'un écarteur transjugal afin de réaliser les 2 trous de forage pour fixer la portion mandibulaire de la plaque en T (Figure 43) (59).

*Figure 43 : Vue per-opératoire d'un repérage  
condylien gauche*

*D'après le livre du Pr Béziat :  
« Chirurgie orthognathique piézoélectrique » (59)*



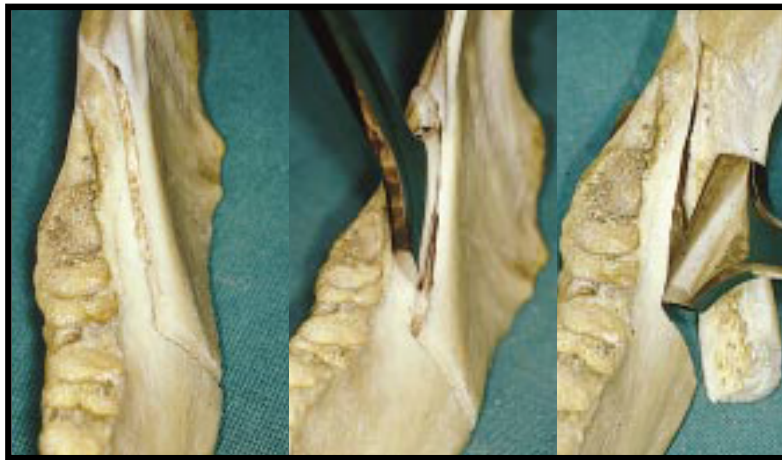
Ces plaques sont retirées avant de procéder au clivage sagittal et seront remises en place (précisément à la même place grâce aux trous de forage réalisés avant le clivage) lors de l'ostéosynthèse de façon à remettre la valve externe dans sa position préopératoire exacte.

Le chirurgien peut alors réaliser la fin du clivage sagittale à l'aide du piézotome et d'ostéotomes si besoin.

Il écarte progressivement les 2 valves l'une de l'autre au ras de la corticale externe de façon à laisser le nerf alvéolaire inférieur dans la valve interne, de la partie antérieure de mandibule jusqu'à la partie postérieure.

On réalise ce geste des 2 côtés (Figure 44) (61).

*Figure 44: Clivage sagittal mandibulaire selon la technique d'Obwegeser-Dalpont modifiée, D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)*



On peut ainsi débloquer le patient.

On vérifie alors la mobilité complète des valves externes (Figure 45). Si un geste d'extraction des dents de sagesse mandibulaires est prévu, c'est à ce moment-là qu'il faut les réaliser.

*Figure 45: Mobilisation du segment osseux mandibulaire selon le tracé décrit par Obwegeser Dalpont D'après le Dr Kumar, disponible sur [www.slideshare.net/GpkKumar/skeletal-deformities-of-lower-third](http://www.slideshare.net/GpkKumar/skeletal-deformities-of-lower-third)*





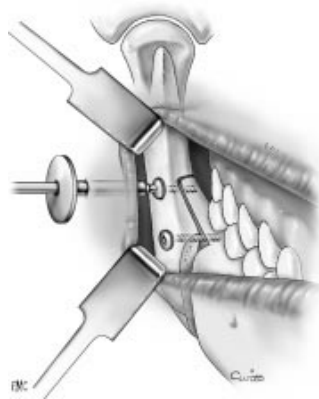
Pour réaliser l'ostéosynthèse, il convient de bloquer de nouveau le patient sur le plan de morsure intermédiaire afin de mettre la portion dentée de mandibule dans la position définitive souhaitée.

On repositionne la plaque en T de repérage condylien puis on réalise l'ostéosynthèse par des vis bicorticales à l'aide de l'écarteur transjugal au niveau de la branche montante en veillant à ce qu'elles soient positionnées à distance du nerf (Figure 46) (64). Pour que cette fixation rigide soit de bonne qualité, il faudra réaliser au minimum une triangulation (Figures 47 a (64) et b(65)) voire une quadrangulation de ces vis (réparties de part et d'autre du nerf). Pendant ce geste, l'aide opératoire devra utiliser un pousse-valve afin d'immobiliser la valve externe plaquée contre la valve interne et d'éviter les mouvements transversaux parasites de cette valve.

On réalise ce geste du côté opposé.

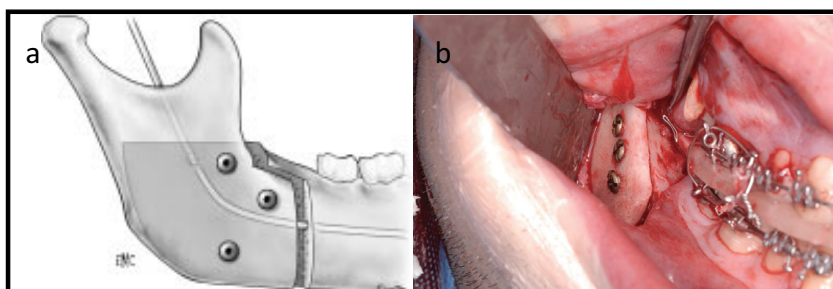
*Figure 46 : Ostéosynthèse du clivage sagittale de mandibule par vissage bicortical,*

*D'après Raphaël et al, de l'EMC de Chirurgie plastique et reconstructrice (64)*



*Figures 47 a et b : Ostéosynthèse avec 3 vis bicorticales,*

- *D'après Raphaël et al, de l'EMC de Chirurgie plastique et reconstructrice (64)*
- *D'après le livre de Ayoub et al : « Handbook of orthognathic treatment : a team approach » (65)*



On peut alors débloquer le patient et vérifier l'exactitude du positionnement de la mandibule par rapport au plan d'occlusion.

### 2.8.2. Ostéotomie de Lefort I

L'ostéotomie de Le Fort I provient de la description du trait de fracture réalisé par René Le Fort en 1901(66) et décliné en technique chirurgicale par Wassmund en 1927.

Cette chirurgie consiste à désolidariser le plateau palato-dentaire du reste du maxillaire en passant horizontalement au-dessus des apex dentaires et verticalement en arrière au niveau de la suture ptérygo-maxillaire afin de mobiliser ce segment osseux dans la direction voulue (Figure 48)(61).

*Figure 48 : Possibilité de mobilisation du segment maxillaire lors d'une ostéotomie de Le Fort I,*

*D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)*



Une incision vestibulaire maxillaire est réalisée d'un secteur molaire à l'autre au travers de la muqueuse libre (Figure 49)(61).

*Figure 49 : Incision vestibulaire maxillaire,  
D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)*

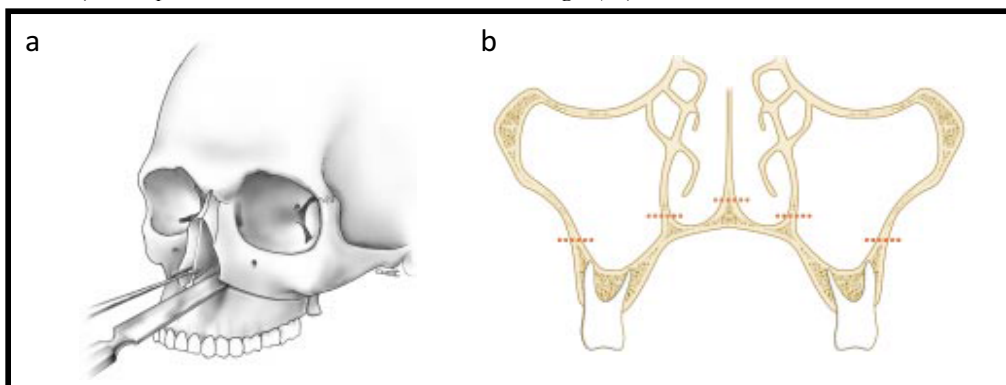


Il convient d'inciser jusqu'à l'os de façon à réaliser un décollement sous-périosté et exposer le cintre zygomaxillaire latéralement, l'orifice piriforme médialement et dégager la partie supérieure, quasiment jusqu'au rebord orbitaire inférieur (exposition du nerf infraorbitaire). Il convient de libérer l'épine nasale antérieure, la muqueuse du plancher des fosses nasales et le bord caudal du septum que l'on désolidarise de l'épine nasale antérieure et du rail osseux.

À l'aide du piézotome, on réalise l'ostéotomie depuis l'orifice piriforme 5 à 10 mm au-dessus de sa partie horizontale en veillant à réaliser ce trait 4 mm au-dessus de l'apex de la canine et au-dessous du cornet inférieur en direction de l'apophyse pyramidale. Le trait d'ostéotomie se fait donc de dedans en dehors, oblique vers le bas. Ce geste devra être réalisé de part et d'autre de l'orifice piriforme (Figures 50 a (64) et b (61)).

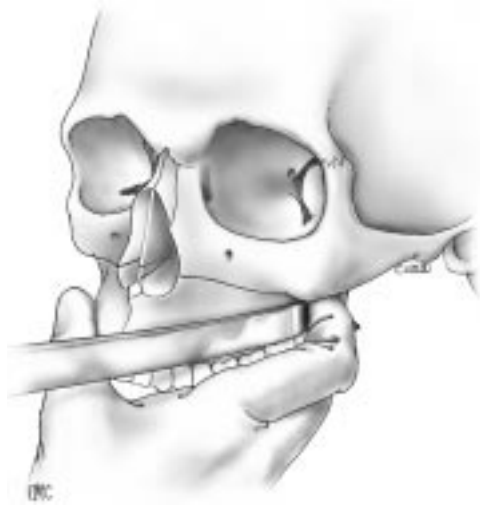
*Figures 50 : Trait d'ostéotomie maxillaire de type Le Fort I avec schéma en 3D et coupe coronale,*

- a) D'après Raphaël et al, de l'EMC de Chirurgie plastique et reconstructrice (64)*
- b) D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)*



La section se poursuit au niveau de la fosse infratemporale après être passée sous l'apophyse pyramidale pour arriver au contact de la lame latérale de l'apophyse ptérygoïde. On peut alors réaliser la section de la tubérosité maxillaire de façon à atteindre la jonction ptérygo-maxillaire. On réalise ensuite la section de la suture ptérygo-maxillaire à l'ostéotome courbe (Figure 51) (64).

*Figure 51 : Ostéotomie de la suture pterygo-maxillaire,  
D'après Raphaël et al, de l'EMC de Chirurgie plastique et reconstructrice (64)*



On peut ainsi réaliser la « Down-Fracture » (Figure 52) (61) : on commence à écarter le plateau palato-dentaire du reste du massif facial à l'aide de coins ou d'un disjoncteur de Tessier placé au niveau des piliers canins et/ou des apophyses pyramidales. Ainsi, les zones avec un pont osseux persistant se retrouvent sectionnées par une fracture guidée lors de cette étape.

On peut ensuite abaisser l'ensemble du plateau palato-dentaire (Figure 53) (61) avec un crochet maxillaire 2 griffes à Le Fort I placé au niveau de l'ouverture de l'orifice piriforme.

Figure 52 : Down-Fracture,  
D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

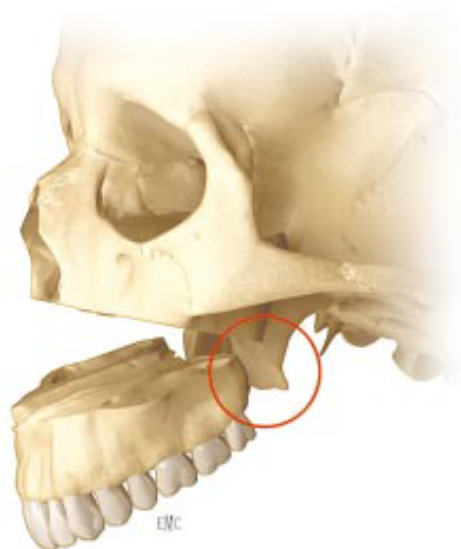
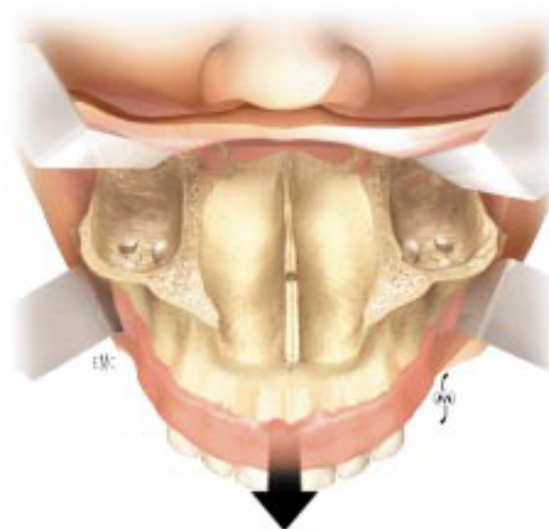


Figure 53 : Vue supérieure du plateau  
palato-dentaire abaissé  
D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)



Il faut ensuite régulariser les 2 cloisons inter-sinuso-nasales à la pince gouge en veillant à ne pas léser les pédicules palatins descendants qui se trouvent à la partie postérieure de ces cloisons. Le même geste sera réalisé pour le vomer (Figure 54 et 55) (61) et le rail palatin. On réalise une libération des piliers osseux postérieurs tout en respectant le pédicule vasculaire qu'il convient de libérer dans le même temps.

Figure 54 : Régularisation du Vomer :  
vue latérale,  
D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)

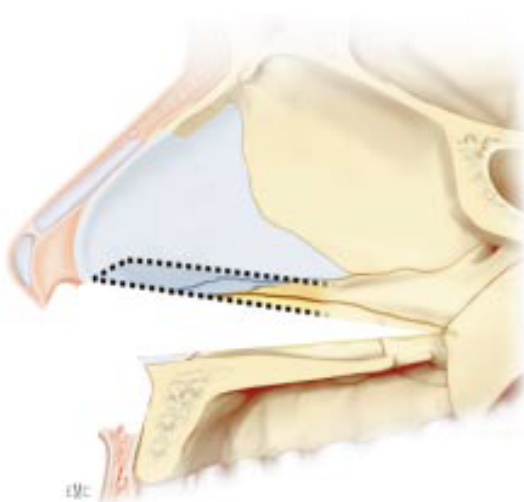
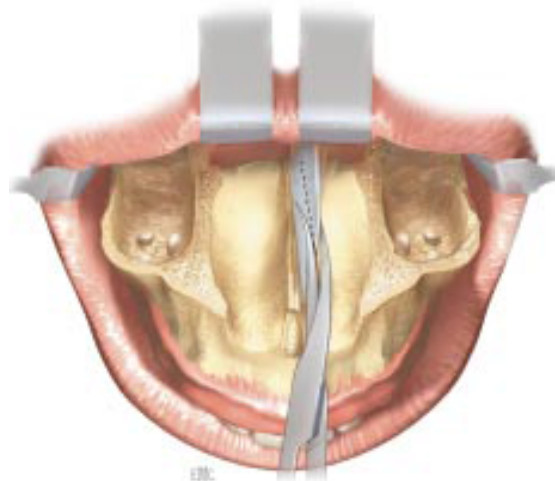


Figure 55 : Régularisation du Vomer :  
vue supérieure,  
D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)



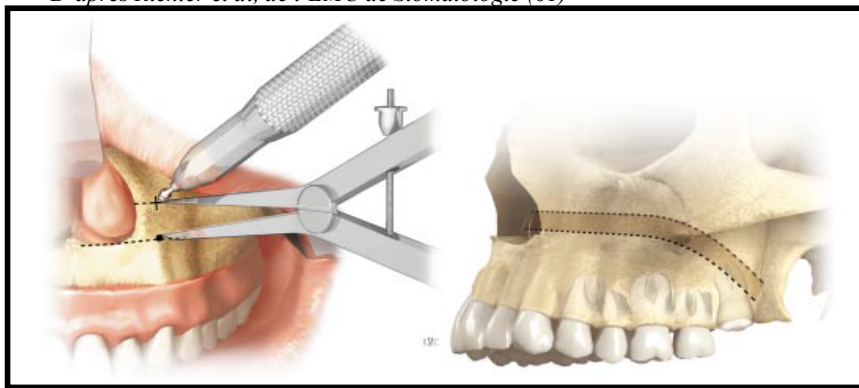
Un geste associé de septoplastie pourra être associé à ce moment-là notamment dans le cadre des déviations de la cloison nasale, mais aussi dans les impactions maxillaires qui peuvent en créer une. Il faut donc réséquer la partie inférieure du septum. Un geste sur les cornets inférieurs peut aussi être indiqué lors des impactions maxillaires de plus de 5mm. En effet, ces cornets inférieurs peuvent empêcher le positionnement correct du maxillaire et donner une obstruction nasale postopératoire. Une turbinectomie inférieure bilatérale peut donc être indiquée.

L'intervention se termine par la mise en place du plan d'occlusion final permettant de positionner le maxillaire.

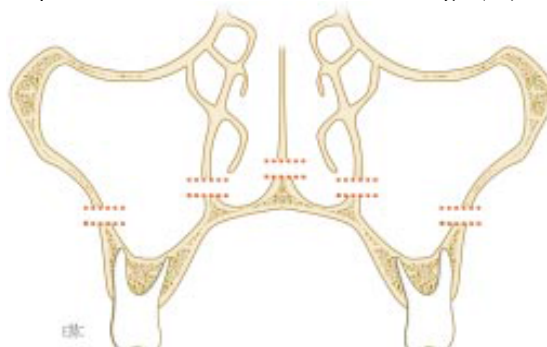
Le dernier blocage maxillo-mandibulaire est alors réalisé.

En fonction du set-up réalisé préalablement, il faudra gérer le sens vertical en analysant le recouvrement labial incisif. Une impaction (Figures 56 et 57) (61) ou épaction antérieure pourra alors être effectuée.

*Figure 56 : Exemple de mesure de la quantité d'impaction nécessaire avant ostéotomie maxillaire, D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)*



*Figure 57 : Schéma : Vue coronale d'une impaction maxillaire, D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)*

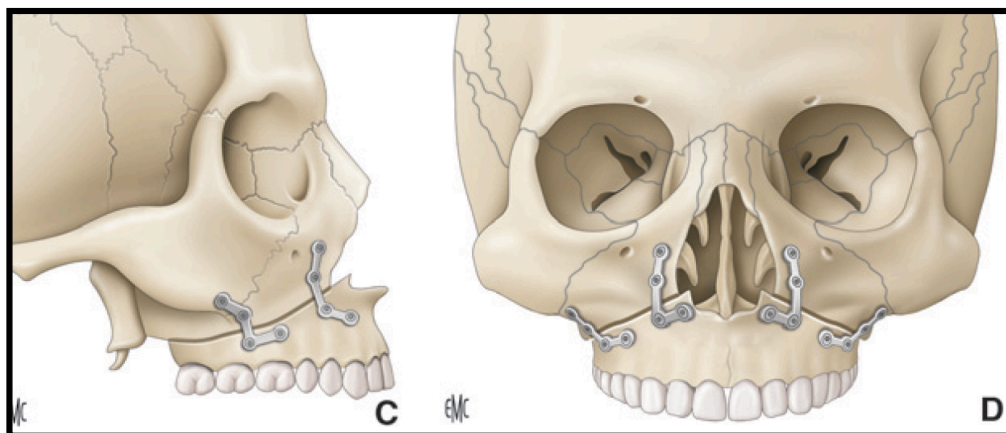


De même, on pourra régler une obliquité occlusale à l'aide de cales mise en place d'un seul côté. Une rotation du plan d'occlusion pourra être réalisée à l'aide d'une impaction ou épaction postérieure (impaction et épaction antérieure interviennent également dans la rotation du plan d'occlusion).

La dernière étape avant l'ostéosynthèse consiste à positionner correctement le complexe maxillo-mandibulaire en fonction des milieux, du recouvrement labial incisif et de l'angle naso-labial ...

On peut alors procéder à l'ostéosynthèse par deux plaques en L à droite et deux plaques en J à gauche de façon symétrique, respectivement au niveau du pourtour de l'orifice piriforme et au niveau de l'apophyse pyramidale (Figure 58) (67).

*Figure 58 : Schéma : Vue de face et profil : ostéosynthèse d'une ostéotomie de Le Fort I, D'après Deffrennes et al, de l'Encyclopédie Médico-Chirurgicale, Techniques chirurgicales- Tête et cou (67)*



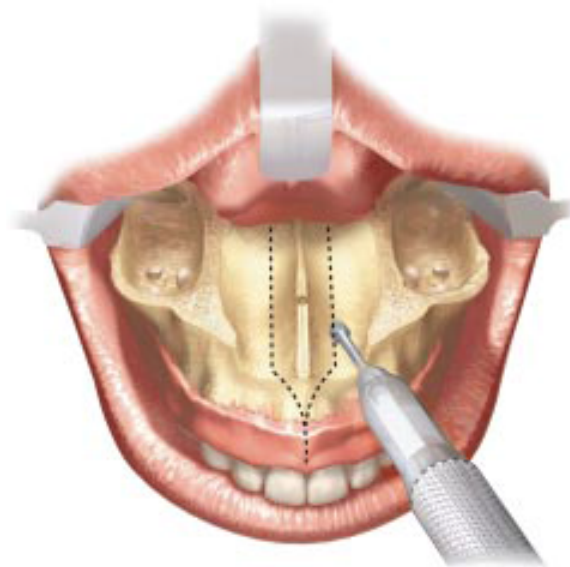
On procède ensuite au débloqué maxillo-mandibulaire et au contrôle de l'occlusion. Si on constate que les dents mandibulaires s'engrènent dans le plan de morsure sans recul, ni propulsion, ni latérodéviation, ni béance, alors l'intervention peut se terminer. Dans le cas contraire, l'ensemble des étapes doivent être reprises après avoir démonté l'ensemble des plaques et vis.

La fermeture est réalisée à l'aide de fils tressés résorbables sur drains aspiratifs placés en regard des branches montantes au travers d'un orifice transjugal de chaque côté.

### 2.8.3. Ostéotomie de Lefort I segmentée

Certains patients de notre étude ont eu également recours à un geste sur le sens transversal maxillaire. En effet, certains patients présentaient une endognathie maxillaire imposant la réalisation d'une expansion palatine. Après avoir réalisé la « Down-Fracture » détaillée précédemment, on réalise une section au piézotome en partant de l'épine nasale antérieure puis en éventail ou « flûte de champagne » de part et d'autre du rail sur les lames horizontales palatines d'avant en arrière (Figure 59) (61).

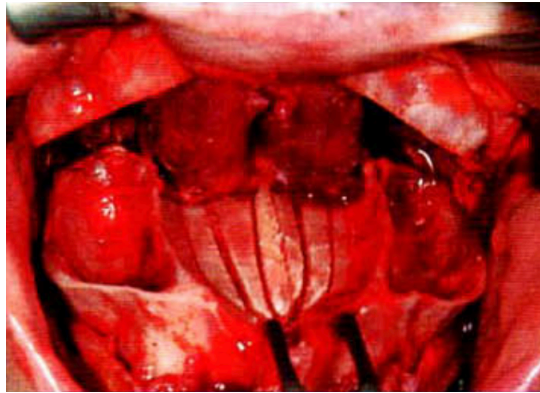
*Figure 59 : Schéma : Vue supérieure: Tracé d'une disjonction intermaxillaire,  
D'après Richter et al, de l'EMC de Stomatologie (61)*



On peut réaliser 1, 2, 3 voire 4 traits d'ostéotomie palatins par côté en fonction de l'expansion transversale voulue (Figure 60).



*Figure 60 : Vue supérieure per-opératoire d'une disjonction intermaxillaire de 4 mm, D'après le livre du Pr Béziat : « Chirurgie orthognathique piézoélectrique » (59)*



Il faudra bien veiller à passer avec le piézotome toute l'épaisseur palatine jusqu'à la muqueuse. On vérifie ensuite que nos fragments sont bien mobiles les uns par rapport aux autres en réalisant une traction maxillaire transversale par 2 fils métalliques fixés autour des 1<sup>res</sup> molaires maxillaires. Un trait d'ostéotomie permet de réaliser une expansion de 1 mm.

L'intervention peut ensuite reprendre son cours en positionnant le maxillaire sur le plan d'occlusion finale suivi du blocage maxillo-mandibulaire puis de l'ostéosynthèse.

#### 2.8.4. Génioplastie

Certains patients ont nécessité la réalisation d'une génioplastie associée aux gestes maxillo-mandibulaires.

Il s'agissait pour la totalité des patients d'une génioplastie d'avancée.

On réalise une incision vestibulaire symphysaire mandibulaire à 5- 6 mm de la gencive attachée de la dent 35 à 45. On incise ensuite jusqu'à l'os de canine à canine puis on réalise un décollement sous-périoste de façon à rechercher et protéger le nerf alvéolaire inférieur puis on complète l'incision jusqu'à la 2<sup>e</sup> prémolaire en contrôlant le nerf V3.

On poursuit le décollement de haut en bas de toute la région génienne jusqu'au rebord basilaire en veillant à garder des attaches osseuses inférieures permettant la vascularisation de l'os prochainement ostéotomisé.

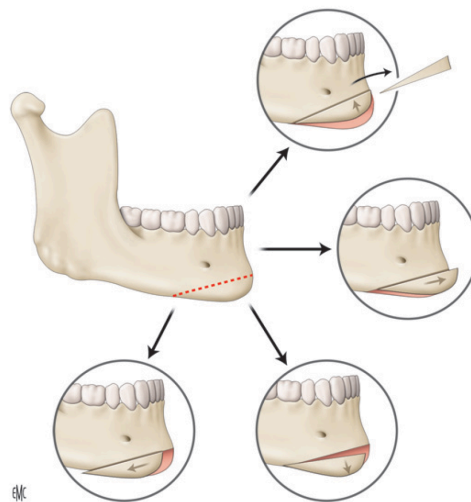
On réalise un repérage de la ligne médiane par une marque au piézotome.

On réalise ensuite le tracé d'ostéotomie avec le piézotome ou à la scie. Ce tracé doit passer 5 mm au-dessous des apex dentaires et des foramens mentonniers.

Ce trait d'ostéotomie a donc un trajet : de dedans en dehors, oblique, vers le bas (Figure 61) (67).

*Figure 61 : Trait de génioplastie et mouvements possibles,*

*D'après Deffrennes et al, de l'Encyclopédie Médico-Chirurgicale, Techniques chirurgicales- Tête et cou (67)*



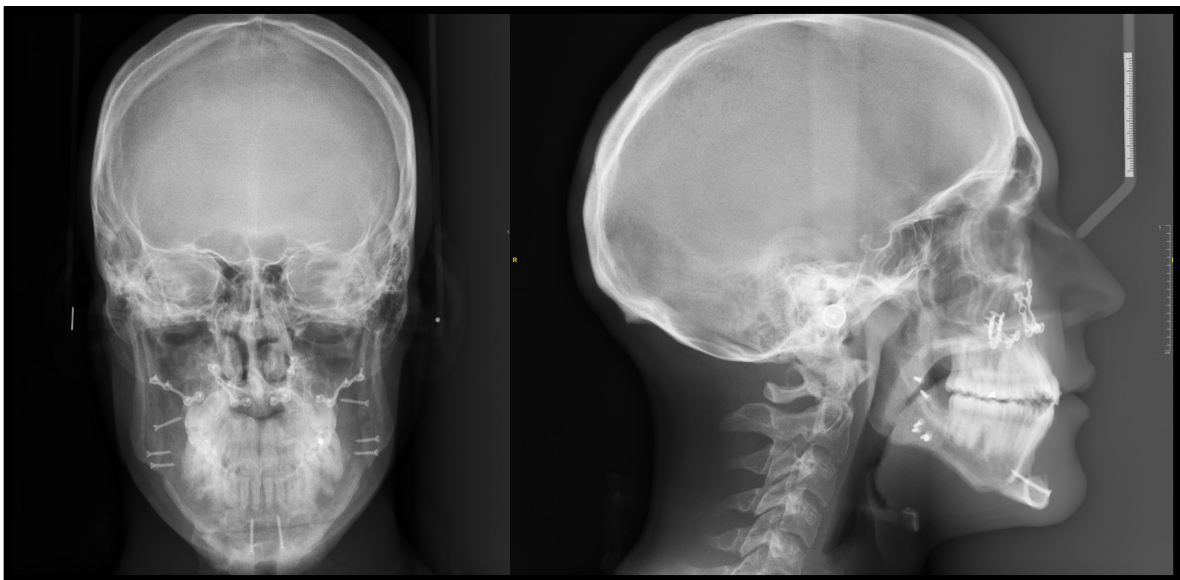
Il faudra veiller à prolonger ce trait d'ostéotomie au maximum en postérieur de façon à conserver un rebord basilaire le plus harmonieux possible. Lorsque les corticales externe et interne sont sectionnées, on peut alors procéder au positionnement génien. On réalise un trou de forage transfixiant au niveau du fragment afin de passer un fil métallique que l'on relie à une pince Kocher pour réaliser le positionnement génien à main lever en fonction de la projection des parties molles résultante. On analyse la position et la projection labiale inférieure ainsi que la position relative de la lèvre supérieure par rapport à la lèvre inférieure. Donc le seul critère de jugement pour les génioplasties est esthétique et cette évaluation se fait uniquement en peropératoire.

Une fois la position optimale déterminée, on réalise l'ostéosynthèse par la mise en place de 2 ou 3 vis tricorticales fixées selon une direction allant de bas en haut, oblique, et d'avant en arrière (Figure 62).

Un dernier contrôle de la projection du menton cutané et des lèvres est réalisé avant la fermeture.

Si le résultat esthétique est satisfaisant, on peut alors fermer la voie d'abord avec du fil tressé résorbable.

*Figure 62 : Téléradiographie de face et profil : exemple de génioplastie d'avancée*



#### 2.8.5. Contraction mandibulaire

Quelques patients de l'étude ont également eu ce geste associé ; il convenait donc de le décrire.

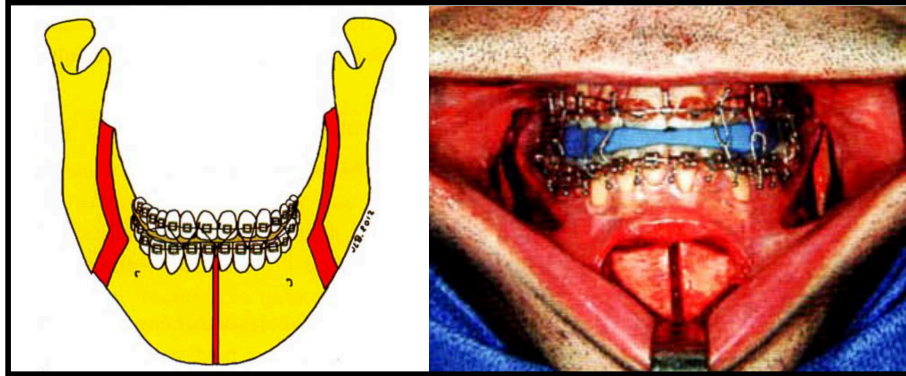
La contraction mandibulaire consiste à réduire le sens transversal de la mandibule.

Elle doit être faite durant le blocage maxillo-mandibulaire mis en place à l'étape du clivage sagittal bilatéral de mandibule afin que le piézotome fonctionne correctement.

On reprend la même incision de génioplastie, mais moins grande (3 cm). On procède de nouveau au décollement sous-périosté de la région génienne sur une bande de 3 cm de large. On réalise ensuite l'ostéotomie verticale symphysaire passant au niveau de l'os alvéolaire interincisif en haut et le

milieu des apophyses géni en bas de façon à sectionner la corticale externe puis interne (Figure 63) (59).

*Figure 63 : Trait d'ostéotomie symphysaire lors d'une contraction mandibulaire, D'après le livre du Pr Béziat : « Chirurgie orthognathique piézoélectrique » (59)*



Une fois la découpe terminée, on procède au déblocage maxillo-mandibulaire puis on vérifie que nos 2 hémimandibules sont bien mobiles.

On positionne ensuite nos 2 hémimandibules sur le plan d'occlusion intermédiaire (contraction) pour réaliser de nouveau le blocage maxillo-mandibulaire afin de procéder à l'ostéosynthèse.

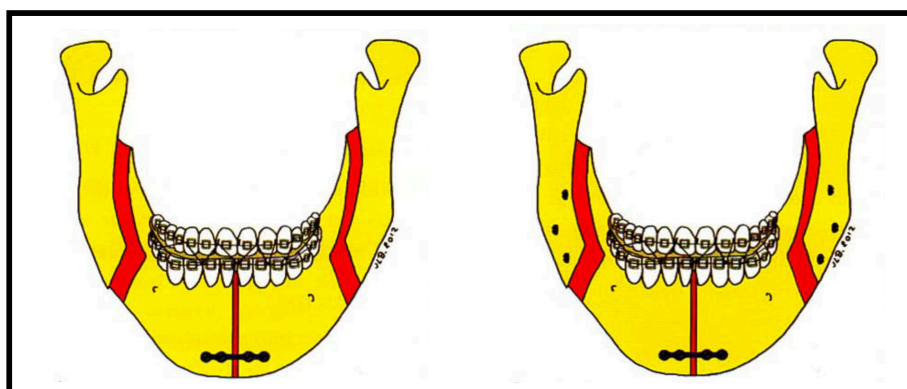
L'ostéosynthèse est réalisée grâce à une simple ou double contention : une ou deux plaques 4 trous, sont mises en place au niveau basilaire et une autre au niveau alvéolaire.

On réalise une fermeture de la voie d'abord par du fil tressé résorbable.

Les 2 clivages sagittaux peuvent ensuite être ostéosynthésés selon la méthode détaillée précédemment afin de pouvoir procéder au temps maxillaire si le cas le requiert (Figure 64) (59).

*Figure 64 : Ostéosynthèse de la symphyse mandibulaire puis de l'ostéotomie sagittale de mandibule.*

*D'après le livre du Pr Béziat : « Chirurgie orthognathique piézoélectrique » (59)*



## 2.9. Clear Aligner Therapy combiné à la Chirurgie Orthognathique :

### 2.9.1. Revue de la littérature :

Revenons à l'essentiel et notamment à ce traitement combinant chirurgie orthognathique et Clear Aligner Therapy.

C'est Boyd (68) en 2005, qui a initié et publié le 1<sup>er</sup> cas traité par Invisalign® et chirurgie orthognathique.

Proffit (1) corrobore ce case-report en indiquant dans son ouvrage qu'il est tout à fait possible d'effectuer ce traitement combiné.

Ils évoquent tous les 2 la nécessité de fixer dans tous les cas des brackets et crochets pour réaliser le blocage maxillo-mandibulaire lors de la chirurgie.

Pagani en 2016 traite un cas en utilisant cette méthode de blocage (69).

D'autres suggèrent la mise en place d'arcs métalliques rigides pour réaliser ce blocage (70).

Le case-report de Marcuzzi montre qu'il est possible de se passer de ces brackets inesthétiques par la pose de boutons en céramiques (71).

L'équipe de Taub (72) en 2017 propose dans son article différentes alternatives de blocages intermaxillaires (IMF) dans le cadre d'Invisalign® ( Erich Arch Bar [Figure 65], vis IMF [Figure 66]), mais n'aborde pas les boutons collés.

*Figure 65 : Erich Arch Bar en vue d'un blocage maxillo-mandibulaire, D'après l'article de Taub et al (72)*



*Figure 66 : Vis IMF en vue d'un blocage inter-maxillaire, D'après l'article de Taub et al (72)*



En 2018, l'équipe de Kankam (73) propose un protocole centré sur l'étape de la chirurgie orthognathique afin de détailler son blocage maxillo-mandibulaire par vis IMF (Figure 67). Il explique la méthode utilisée sur 13 cas, essentiellement des patients en classe III.

*Figure 67 : Vis IMF et blocage intermaxillaire, d'après l'article de Kankam et al*

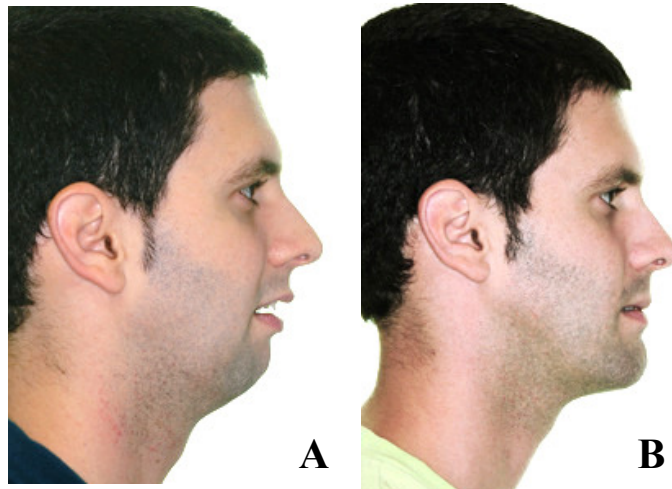


Mais aucun protocole détaillé à ce jour n'explique les étapes du début à la fin du traitement combiné prenant en considération et expliquant la prise en charge orthodontique initiale, la phase chirurgicale avec les techniques récentes et esthétiques de blocage maxillo-mandibulaire et enfin les phases de finitions et contention.

Nous avons donc créé un protocole afin que tout praticien de tout niveau (orthodontiste ou chirurgien), puisse suivre étape par étape les propositions faites dans cet article afin de traiter un patient par aligneurs et chirurgie orthognathique si le patient le souhaite et que le cas s'y prête. Nous aborderons ultérieurement dans cet ouvrage l'efficacité et la stabilité de la CAT dans le cadre de la chirurgie orthognathique.

2.9.2. Exemples de cas pratiques d'une classe II et III squelettiques pré et postopératoires:

*Figure 69 : Classe II squelettique pré-opératoire (A) et post-opératoire (B), source Professeur Gleizal*



*Figure 68 : Classe III squelettique pré-opératoire (A) et post-opératoire (B), source Professeur Gleizal*







### 3. Protocole orthodontico-chirurgical : Clear Aligner Therapy associée à la chirurgie orthognathique en 17 étapes

#### 3.1. Introduction

Les chirurgiens maxillo-faciaux reçoivent une demande croissante de patients préparés par Clear Aligner Therapy (CAT). Cette patientèle atteinte de dysmorphose dento-squelettique est plus exigeante que celle traitée par appareil labial fixe. Leurs doléances concernent essentiellement l'esthétique (41), mais aussi le confort (moins de douleurs, de traumatisme muqueux que l'on retrouve dans les appareils multiattaches) (2,16,39,40), l'hygiène bucco-dentaire avec le statut parodontal (42–44) et enfin une courte durée de traitement (45).

Aucune stratégie standardisée pour prendre en charge de façon optimale les patients requérant une chirurgie orthognathique avec préparation par CAT n'a été proposée à ce jour.

Par conséquent, l'objectif de cet article était de proposer un protocole standardisé orthodontico-chirurgical basé sur notre expérience avec plusieurs orthodontistes, étayé par une revue de la littérature sur le sujet.

#### 3.2. Matériel et Méthode

Nous avons travaillé avec quatre orthodontistes spécialisés en CAT et plus spécifiquement dans le traitement combinant Invisalign® et chirurgie orthognathique. On a demandé à chaque praticien de rédiger un protocole de leur pratique orthodontique courante en utilisant Invisalign®, en mettant l'accent sur leur préparation préopératoire détaillée et en tenant compte des notions esthétiques requises par le patient. Les avantages et les inconvénients de chacun des quatre protocoles ont ensuite été comparés au corpus de connaissances générales tirées de la littérature (articles et manuels), malgré la rareté de ces derniers.

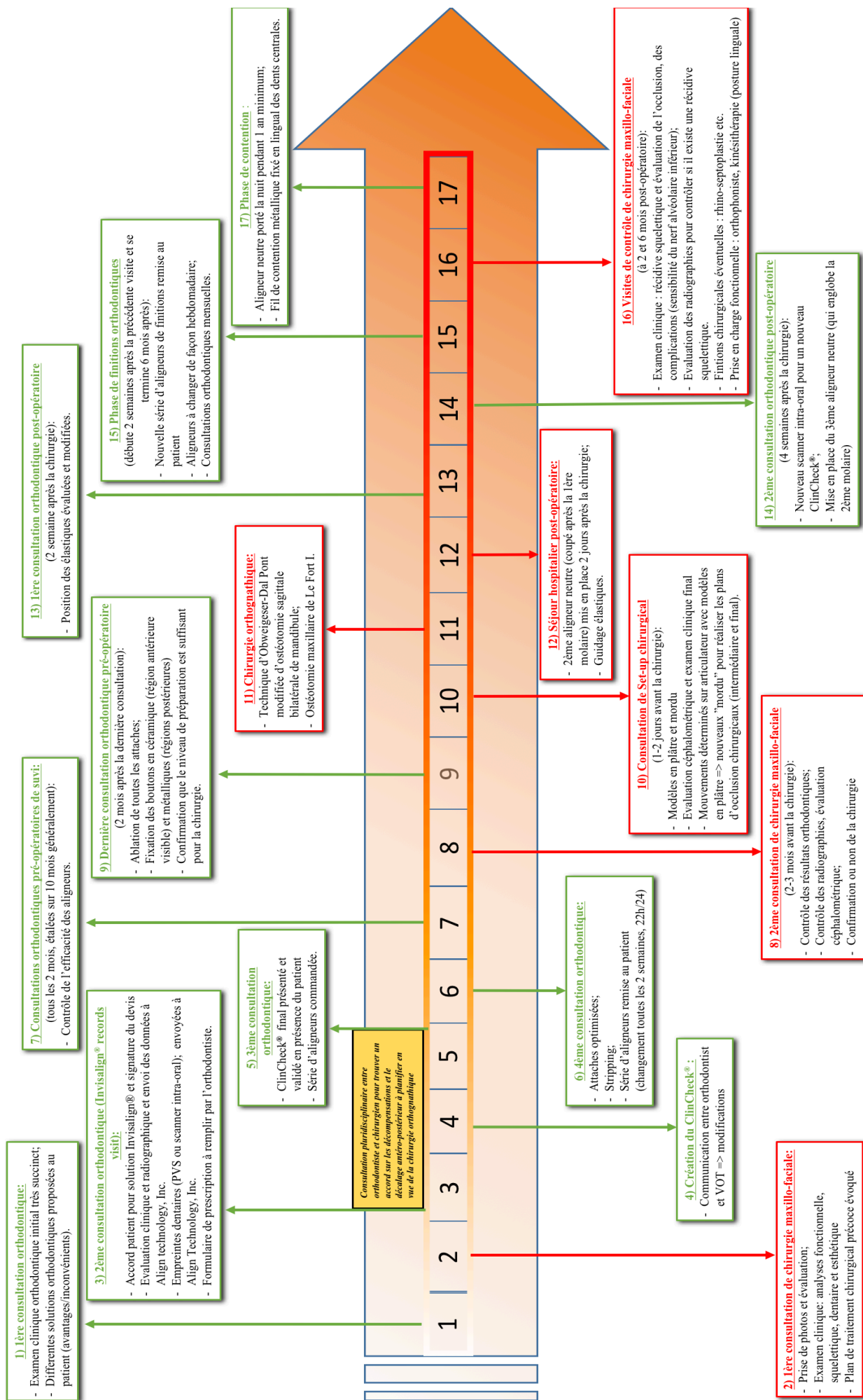
Nous avons ensuite réalisé une synthèse de tout ce savoir-faire en un protocole standardisé orthodontico-chirurgical. Enfin, nous avons adressé le protocole ainsi élaboré aux quatre orthodontistes pour validation et améliorations finales éventuelles. Une fois que les quatre orthodontistes étaient d'accord, nous avons décidé de le proposer comme *modus operandi* aux praticiens des deux domaines - chirurgiens et orthodontistes, afin que les lecteurs de la revue puissent promouvoir de nouvelles recherches et apporter des améliorations à ce protocole.

### 3.3. Résultats :

Les étapes du protocole final sont décrites de manière chronologique. Mais si le patient a consulté en 1<sup>er</sup> le chirurgien, il devra automatiquement être redirigé vers l'orthodontiste et vice-versa.

Avant de détailler l'ensemble des 17 étapes du protocole, voici un schéma simplifié résumant ce protocole (Figure 70) :

Figure 70 : Frise chronologique résumant les 17 étapes du protocole orthodontico-chirurgical : Invisalign® combiné à la chirurgie orthognathique



### 3.3.1. 1<sup>re</sup> consultation orthodontique

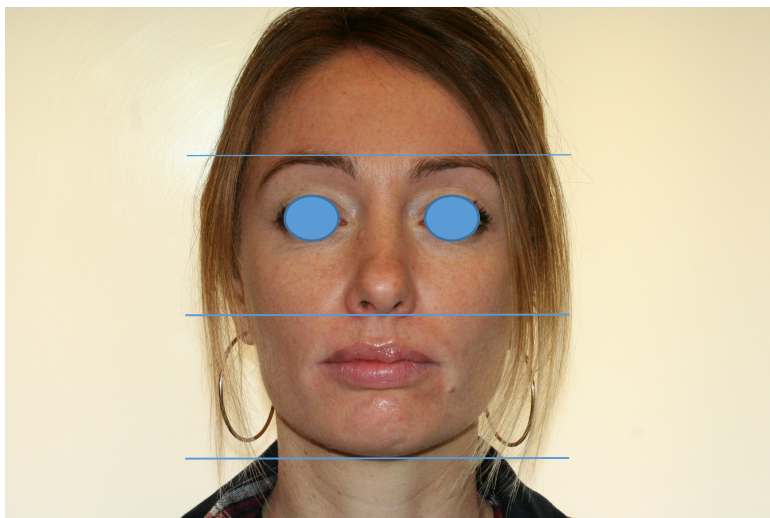
- La visite commence par un examen clinique succinct. Le plan antéro-postérieur, le plan transversal et les plans verticaux sont évalués. L'analyse dentaire est effectuée : classification des malocclusions selon Angle, anomalies dento-maxillaires, anomalies dento-dentaires, surplomb horizontal et vertical, bécance antérieure, malpositions dentaires, formule dentaire, hygiène bucco-dentaire.
- L'orthodontiste recueille les différents antécédents : tabagisme, dysfonction linguale et comorbidités. Un diagnostic est alors effectué et le patient reçoit des explications sur ce qui doit être corrigé.
- Tous les orthodontistes interrogés ont convenu qu'à chaque fois qu'une intervention chirurgicale était indiquée, le patient devait être informé de cette issue dès la première consultation.
- L'orthodontiste informe le patient des options de traitement orthodontique disponibles (y compris Invisalign®), de la durée moyenne du traitement (18 mois), des avantages (esthétique, hygiène bucco-dentaire, confort) et des inconvénients (beaucoup de mouvements dentaires possibles, mais pas tous, observance du patient indispensable en portant l'aligneur 22h / 24h).
- L'orthodontiste adresse un courrier contenant toutes ces informations au chirurgien maxillo-facial. Tous les orthodontistes ont adressé leur patient à une consultation de chirurgie maxillo-faciale après la première visite d'orthodontie.

### 3.3.2. 1<sup>re</sup> consultation de chirurgie maxillo-faciale

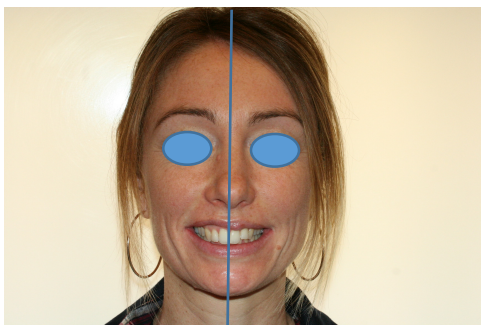
Le chirurgien prend des photos et effectue un bref examen physique portant sur les éléments suivants:

- Analyse esthétique :
  - Face : symétrie, hauteur des trois tiers du visage (Figure 71), contraction des muscles labio-mentonniers et compétence labiale, sourire gingival, décalage de structures anatomiques médianes du visage : nez, menton, points interincisifs (Figures 72 et 73) ;

*Figure 71 : Hauteur des 3 tiers de la face*



*Figure 72 : Symétrie du visage*

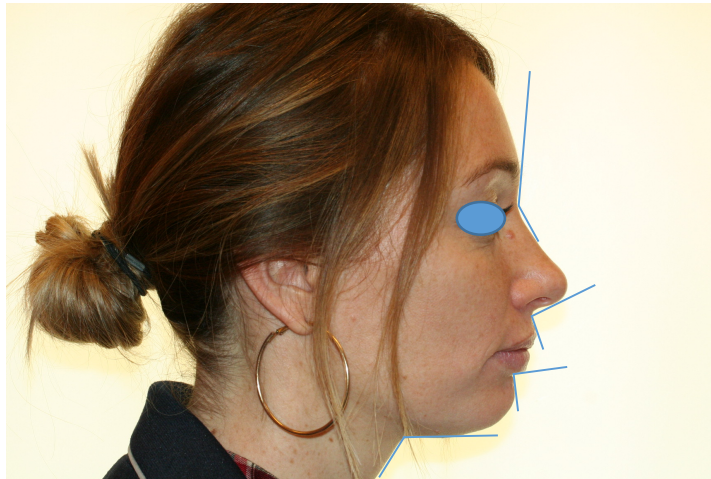


*Figure 73 : Ligne inter-incisive*



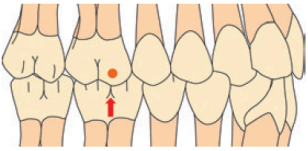
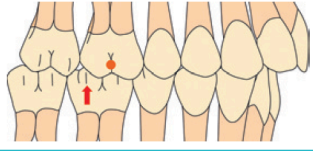
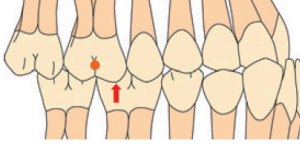
- Profil : angle naso-frontal, angle naso-labial, angle labio-mentonnier, occlusion labiale, angle cervico-mentonnier, pro / normo- / rétrognathisme (Figure 74).

*Figure 74 : Examen de profil avec de haut en bas les angles : naso-frontal, naso-labial, labio-mentonnier, cervico-mentonnier.*






- Analyse fonctionnelle :
  - Dysfonction de l'articulation temporo-mandibulaire: douleurs et craquements,
  - Syndrome d'apnée obstructive du sommeil et ronflement,
  - Troubles de la posture linguale
  - Troubles de la mastication.
- Analyse dentaire: classification des malocclusions selon Angle (I, II, III) (Figure 75) (74), santé parodontale.

**Figure 75 :** Classification des malocclusions selon Angle,  
D'après le livre de Zunzarren, Guide Clinique D'odontologie (74)

Classe I	Classe II	Classe III
<p>Normalité</p> <p>La cuspside mésovestibulaire de la première molaire maxillaire est reçue dans le sillon vestibulaire de la première molaire mandibulaire</p> <p>Les dents postérieures et antérieures aux premières molaires présentent les mêmes relations</p> 	<p>Occlusion distale de plus d'une demi-cuspide de la première molaire mandibulaire par rapport à la première molaire maxillaire, de chaque côté, ce qui oblige les autres dents à se placer dans la même relation</p> 	<p>Occlusion mésiale de plus d'une demi-cuspide des molaires mandibulaires par rapport aux maxillaires</p> 
	<p>Division 1</p> <p>Augmentation du surplomb incisif</p>	<p>Division 2</p> <p>Surplomb normal ou diminué lié à la version palatine des incisives supérieures</p>
	<p>Si un des côtés est en classe I, la classe II est dite classe II subdivision (droite ou gauche)</p>	<p>Si un des côtés est en classe I, la classe III est dite classe III subdivision (droite ou gauche)</p>

➤ Analyse squelettique: classification de Ballard (Figure 76) (74).

**Figure 76 :** Classification squelettique selon Ballard,  
D'après le livre de Zunzarren, Guide Clinique D'odontologie (74) (images du Pr de Brondeau)

Classe I	Classe II	Classe III
<p>Rapports normaux</p>	<p>Mandibule en retrait par rapport au maxillaire OU Maxillaire avancé par rapport à la mandibule</p>	<p>Mandibule avancée par rapport au maxillaire OU Maxillaire en retrait par rapport à la mandibule</p>
		

Le chirurgien peut alors envisager un plan de traitement chirurgical précoce. Il convient alors d'évaluer la dimension transversale et le chirurgien décide alors si le recours à une disjonction intermaxillaire (DIM) est nécessaire en conjonction avec l'ostéotomie de Le Fort I pour réaliser l'expansion maxillaire. Cette décision a un impact direct sur les aligneurs postopératoires immédiats prévus par l'orthodontiste, ce que nous détaillerons plus tard dans cet ouvrage.

Une fois que le patient a accepté et choisi son traitement orthodontique, la deuxième visite d'orthodontie peut avoir lieu.

### 3.3.3. 2<sup>e</sup> consultation orthodontique : « Invisalign® records visit »

Cette consultation comprend plusieurs étapes :

- Signature du devis Invisalign® par le patient.
  
- L'évaluation clinique et radiographique initiale est effectuée. Les photographies, le panoramique dentaire et les téléradiographies de face et profil sont téléchargés sur le site Web d'Align Technology, inc.
  
- Une empreinte dentaire en Polyvinyl Siloxane (PVS) est réalisée et envoyée chez Align Technology, inc. afin de reconstituer l'image positive de cette empreinte (via un scanner) sans avoir à passer par l'étape du modèle en plâtre. Cette étape est réalisée à l'aide d'un scanner permettant de numériser les informations des empreintes afin de créer un rendu 3D représentant les arcades dentaires informatisées (75).
  
- Comme alternative aux empreintes physiques, un scanner intra-oral peut être réalisé à l'aide de la console iTero® par exemple, qui correspond à une visualisation 3D en temps réel du scanner



numérique et donc des arcades. Les scanners iTero®, fonctionnent sur une plate-forme unique fonctionnant avec l'iTero Orthodontic Digital Ecosystem®, un logiciel permettant aux données 3D numérisées d'être transmises directement à Align Technology, inc. lorsque les scanners iTero® sont saisis.

- Un formulaire de prescription est alors rempli. Les aligneurs seront alors conçus à l'étape suivante (ClinCheck®) et seront ensuite appliqués aux stades périopératoires détaillés ci-dessous.
- C'est à cette étape du protocole qu'il faut anticiper la prescription de 3 aligneurs neutres avec des fenêtres pour les boutons qui seront situés au niveau de toutes les dents sauf les incisives latérales et les 2es molaires. Cependant, les fenêtres pour les boutons des incisives centrales doivent être faites manuellement par les orthodontistes (n'étant pas prévu par Invisalign®). Les aligneurs neutres servent à stabiliser les mouvements dentaires parasites immédiatement avant et après la chirurgie.

#### 3.3.4. Création du ClinCheck®

- Le ClinCheck® est le plan de traitement Invisalign® personnalisé et animé en 3D, créé à l'issue de la consultation précédente. Basé sur les modèles 3D numérisés ou les empreintes en PVS, le ClinCheck® du patient peut maintenant être créé par le technicien virtuel orthodontique (VOT) d'Align Technology, inc. Tout d'abord, un plan de morsure est établi avec les modèles virtuels 3D. Ensuite, le VOT utilise la fonction «couper» du logiciel et sépare les dents des modèles virtuels, ce qui leur permet d'être déplacées individuellement selon un algorithme préétabli au sein du logiciel (75). Une gencive virtuelle est placée manuellement le long de la ligne gingivale de la couronne pour servir de marge pour la fabrication des aligneurs. La prescription de

l'orthodontiste est suivie en ce qui concerne la correction de l'occlusion et du positionnement dentaire au moyen de la fonction « Traiter » du logiciel Align Technology®, inc., toujours selon un algorithme prédéfini pour aligner, niveler et mettre les arcades en occlusion correcte (75). Une fois la configuration finale obtenue, les mouvements dentaires sont effectués dans le ClinCheck® de manière à éviter toutes interférences occlusales et interproximales (75).

- Quelques jours après, le VOT envoie le ClinCheck® à l'orthodontiste-référent qui peut vérifier le traitement proposé sur le site Web d'Invisalign®. Les mouvements dentaires dans le scénario du ClinCheck® peuvent être modifiés à volonté par l'orthodontiste. Cette autonomie de l'orthodontiste est mise en avant dans la nouvelle version du logiciel ClinCheck Pro® (22) grâce à laquelle l'orthodontiste peut ajuster le traitement directement sur l'image numérisée en 3D, notamment en produisant des mouvements de translation (buccolinguale ou mésiodistale), de torque, d'extrusion, d'intrusion, ou de rotation.
  
- La 1<sup>re</sup> difficulté pour l'orthodontiste est d'identifier et de savoir que les mouvements proposés sont physiologiques ou pas, aligneur après aligneur ; c'est le témoin de l'excellence de leur préparation, garante du succès thérapeutique. Le praticien peut, s'il le souhaite, ajouter des attaches ou des « Precision Cuts » à l'aide du logiciel afin de poser des élastiques intermaxillaires. Tous les mouvements, auxiliaires et attaches proposés par le VOT peuvent être modifiés à souhait par l'orthodontiste s'il n'est pas d'accord, surtout s'il pense, basé sur sa propre expérience, que les mouvements ne sont pas jugés physiologiques ou utiles pour le traitement. Le travail interactif sur le ClinCheck® entre orthodontiste et VOT peut durer plusieurs jours. Le ClinCheck® est finalement un réel outil de planification 3D, un set-up virtuel dynamique, permettant d'ouvrir une boîte de dialogue entre le chirurgien maxillo-facial, l'orthodontiste et le VOT.

### 3.3.5. 3<sup>e</sup> consultation orthodontique

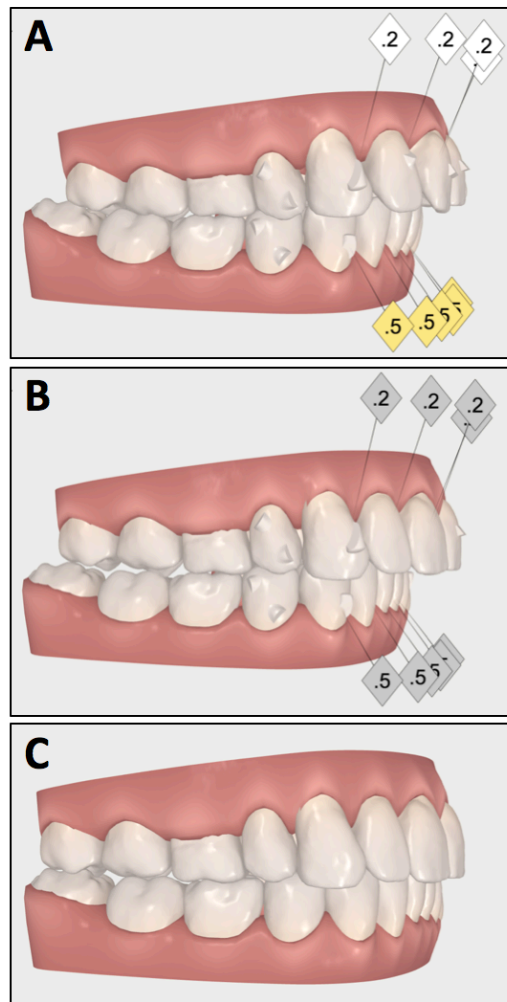
- Le ClinCheck® final est présenté au patient lors de cette consultation. S'il l'accepte, l'orthodontiste passe la commande des aligneurs pour la phase de préparation orthodontique préchirurgicale (Figures 77 A, B et C).

*Figures 77 : Exemple de ClinCheck® à différentes étapes*

*A. Stripping mandibulaire (jaune),*

*B. Mise en place d'attaches optimisées,*

*C. Simulation de la réduction du décalage antéro-postérieur par chirurgie orthognathique*





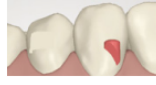

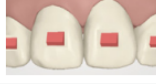
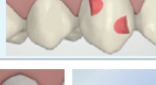


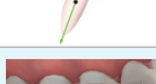
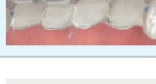

- L'orthodontiste reçoit généralement la série d'aligneurs deux semaines plus tard. Une fois que le plan de traitement a été confirmé par l'orthodontiste, aucune modification ne peut être

apportée à l'exception du processus de « corrections à mi-parcours » ou « midcourse corrections », mais ceci passe par de nouvelles empreintes, radiographies et photographies renvoyées au VOT afin d'obtenir un nouveau ClinCheck ® et donc une nouvelle série d'aligneurs ; mais ceci entraîne un coût supplémentaire.

#### 3.3.6. 4<sup>e</sup> consultation orthodontique

- C'est lors de cette consultation que l'orthodontiste fait essayer au patient la 1<sup>re</sup> série d'aligneurs. C'est souvent à ce moment-là que le praticien va mettre en place les attaches à l'aide d'un aligneur neutre ou gabarit nommé « template » et d'un matériau composite nommé « flow » permettant de créer ces attaches (76). Il existe différents types d'attaches pour réaliser les mouvements évoqués précédemment : attaches optimisées ou conventionnelles. Il existe également les Power Ridges et Bite Ramps (rampes d'occlusion) qui représentent les innovations très récentes de chez Invisalign® dont nous avons discuté plus haut dans cet ouvrage et qui sont déjà incorporés dans la gouttière lors de l'impression en 3D (Figure 78 ) (23).

*Figure 78 : Tableau résumant les attaches optimisées (SmartForce®), points de pressions, Power Ridges et Bite Ramps, Source, Align Technology, inc.*

Feature	Movement	Available on	Visual	
Buccal Power Ridge	Lingual root torque	Upper and lower incisors		
Buccal Power Ridge + Lingual Power Ridge	Lingual root torque and retraction	Upper incisors		
Optimized Rotation Attachment	Rotation	Upper and lower canines and premolars		
Optimized Extrusion Attachment	Extrusion	Upper and lower incisors and canines		
Multi tooth anterior extrusion	Extrusion	Upper incisors		
Optimized Root Control Attachment	Tipping	<ul style="list-style-type: none"> <li>Upper central and lateral incisors</li> <li>Upper and lower canines and premolars</li> </ul>		
Optimized Multi-plane Movement features	Extrusion ± crown tipping ± rotation	Upper lateral incisors		
Deep Bite Attachments	During anterior intrusion, Deep Bite Attachments are used for anchorage/retention or activated for premolar extrusion	Upper and lower premolars		
Pressure Areas	Anterior intrusion	Incisors and lower canines		
Precision Bite Ramps (are not SmartForce® features per se, but can be prescribed by the Provider, and are placed depending on compatibility with other features).	Disocclude the posterior teeth	Upper incisors		
Multi-Tooth Unit	Optimized Retraction Attachment	Canine retraction	Upper and lower canines	 <small>Note: variation in type of attachment, or variation of attachment placement can occur for short crowns.</small>
	Optimized Anchorage Attachment	Posterior anchorage	Upper and lower second premolars and molars	

➤ C'est généralement pendant cette consultation que le stripping est effectué, bien que cela puisse être programmé plus tard dans le ClinCheck® si l'orthodontiste le souhaite. Celui-ci peut être effectué sur des dents ne nécessitant pas de rotation ; sinon il doit être reporté après la dérotation de cette dent.

- Pour une Réduction Amélaire Inter-Proximale (IPR) comprise entre 0,1 et 0,2 mm, il est recommandé d'utiliser une bande abrasive (sablée) (Figure 79).

*Figure 79 : IPR par bande sablée,*

*D'après le Dr Fouda, disponible sur*

*<https://www.slideshare.net/proffouda1/interproximal-enamel-reduction-stripping>*



- Pour un IPR de 0,3 mm : nous recommandons d'utiliser des disques diamantés (Figure 80).

*Figure 80 : IPR par disque diamanté,*

*D'après le Dr Fouda, disponible sur*

*<https://www.slideshare.net/proffouda1/interproximal-enamel-reduction-stripping>*



- Pour un IPR  $\geq 0,4 - 0,5$  mm, nous recommandons d'utiliser les fraises de Sheridan : « the Safe Tipped Air Rotor Stripping » (STARS) (Figure 81) (9,77).

*Figure 81 : IPR par fraise (STARS),*

*D'après le Dr Fouda, disponible sur*

*<https://www.slideshare.net/proffouda1/interproximal-enamel-reduction-stripping>*



- À la fin de la 4e consultation, le patient reçoit l'ensemble des aligneurs. Tous les orthodontistes étaient d'accord sur le temps de port de chaque série d'aligneurs : changement de série toutes les 2 semaines. Les cas chirurgicaux sont plus complexes que les autres avec des malocclusions dentaires souvent très complexes ; par conséquent, nos orthodontistes, et implicitement ce protocole, suggèrent une fréquence de changement d'aligneurs toutes les deux semaines pour la période préopératoire et un changement hebdomadaire pour la phase de finition. Cependant, depuis 2016, Invisalign® a émis des recommandations pour rapporter la fréquence de changement des aligneurs à toutes les semaines (46,78), mais ces recommandations n'abordent pas les cas orthodontico-chirurgicaux.

### 3.3.7. Consultations périodiques orthodontiques préopératoires

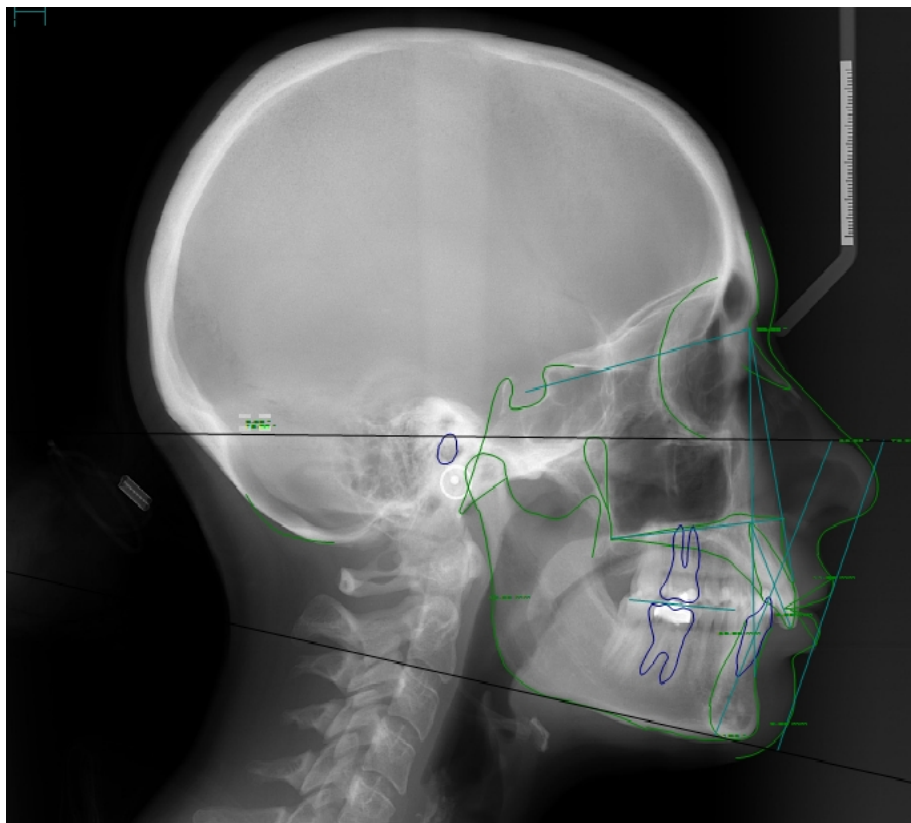
- Des consultations de contrôle sont effectuées tous les 2 mois pour vérifier l'efficacité des aligneurs, l'hygiène bucco-dentaire, l'état du parodonte et l'observance du patient.
- Après 12 à 18 mois, l'orthodontiste évalue le résultat. Si le résultat est satisfaisant, le patient est éligible pour l'intervention chirurgicale et est adressé vers le chirurgien maxillo-facial

pour la deuxième consultation de chirurgie. Dans le cas contraire, l'orthodontiste réalise de nouveau un scanner intra-oral afin de mettre en place des « midcourse corrections ».

### 3.3.8. 2<sup>e</sup> consultation de chirurgie maxillo-faciale

- Après la dernière consultation orthodontique et environ 2 ou 3 mois avant la chirurgie, le chirurgien vérifie le résultat orthodontique et confirme ou non la chirurgie et le type d'intervention prévue initialement.
- Le résultat orthodontique est parfois insuffisant et ne permet pas d'obtenir une bonne occlusion notamment pour le blocage maxillo-mandibulaire (IMF) nécessaire à un résultat fiable et stable. À ce stade, le chirurgien a besoin de téléradiographies (face et profil) et d'un orthopantomogramme pour l'analyse céphalométrique (Figure 82).

*Figure 82 : Téléradiographie de profil avec analyse de Tweed utilisée dans notre 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étude*



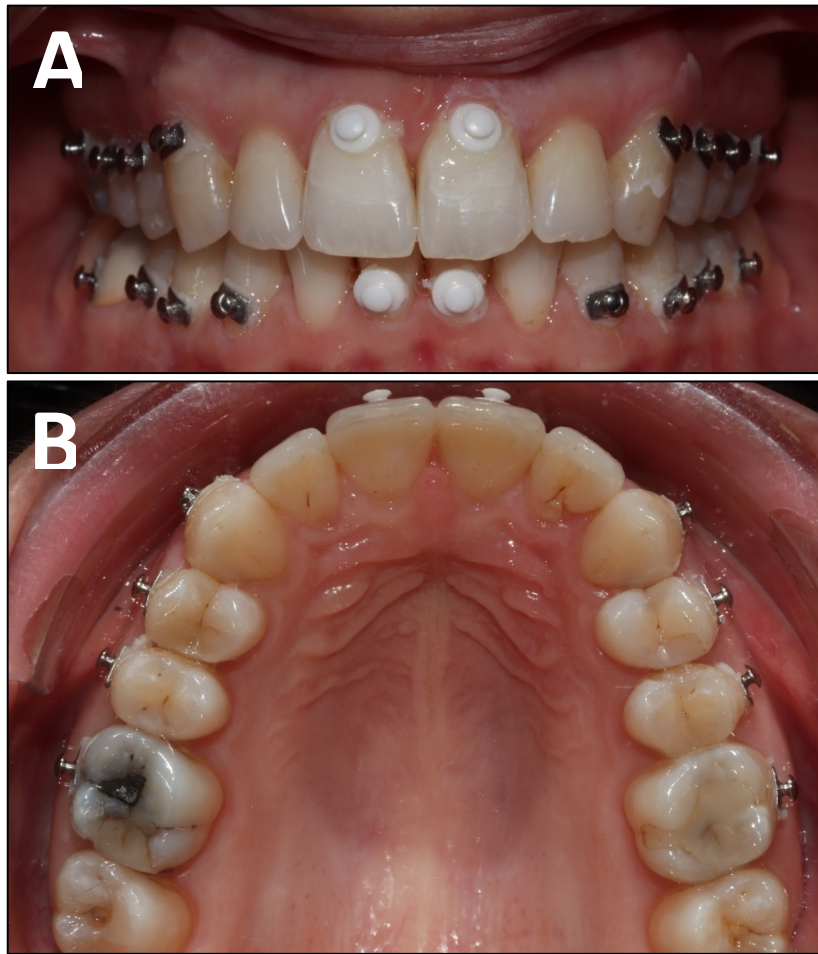


### 3.3.9. Dernière consultation orthodontique préopératoire

- Toutes les attaches sont supprimées à ce stade.
  
- Les pratiques lors de cette consultation sont divergentes : alors que certains orthodontistes préfèrent la mise en place de vis de blocage maxillo-mandibulaires (IMF) (pendant la chirurgie), d'autres suggèrent la pose de boutons vestibulaires céramiques esthétiques sur la partie antérieure et visible des arcades et des boutons métalliques dans les régions postérieures, alors que d'autres préfèrent la pose de brackets et crochets pour un blocage maxillo-mandibulaire optimal en matière d'occlusion.
  
- En tout état de cause, nos quatre orthodontistes de l'étude préfèrent la pose de boutons céramiques en région antérieure combinés à des boutons métalliques en région postérieure, car les patients sont demandeurs d'esthétique et de confort.

Les boutons céramiques sont placés sur les incisives centrales, les boutons métalliques sont positionnés sur chaque dent de la canine à la 1<sup>re</sup> molaire, mais aucun bouton n'est fixé sur les incisives latérales (Figures 83 A et B). Nous préconisons de mettre en place plus de boutons que nécessaire en cas de perte pendant la chirurgie, principale limite de cette technique.

*Figures 83 A et B : Photos de face et vue inférieure du maxillaire montrant la position des boutons céramiques et métalliques*



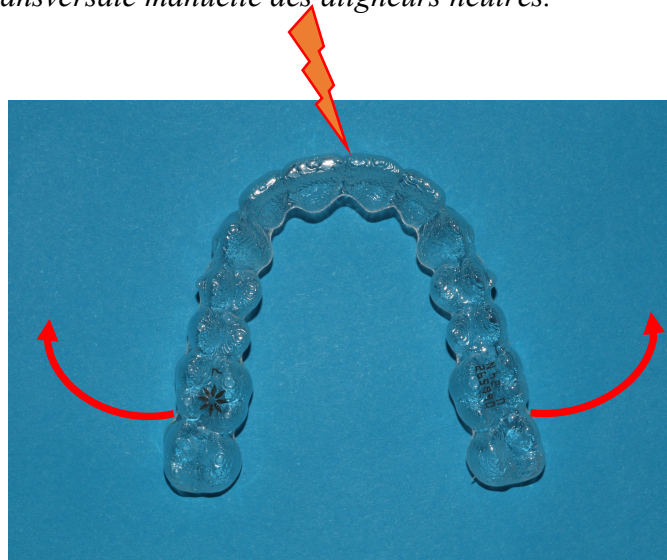
- Le 1er aligneur neutre (préopératoire) est alors appliqué sur le patient (avec une fenêtre pour l'emplacement de chaque bouton) (Figure 84).

*Figure 84 : Photos de face avec boutons céramiques et métalliques : aligneurs en place et fenêtres incorporées pour laisser place aux boutons*



- Si le chirurgien a prévu une ostéotomie de Le Fort I segmentée et donc une expansion transversale, l'orthodontiste doit alors préparer, modifier le 2<sup>d</sup> aligneur neutre (postopératoire) en chauffant la zone des incisives centrales de l'aligneur afin de créer une expansion transversale manuelle en fonction de l'amplitude de l'expansion envisagée par le chirurgien (Figure 85). Ceci est une astuce que nous proposons, étant donné que la disjonction intermaxillaire ne peut être anticipée et programmée sur le ClinCheck® à l'heure actuelle.

*Figure 85 : Application d'une source de chaleur au niveau de la région incisive de l'aligneur pour réaliser une expansion transversale manuelle des aligneurs neutres.*

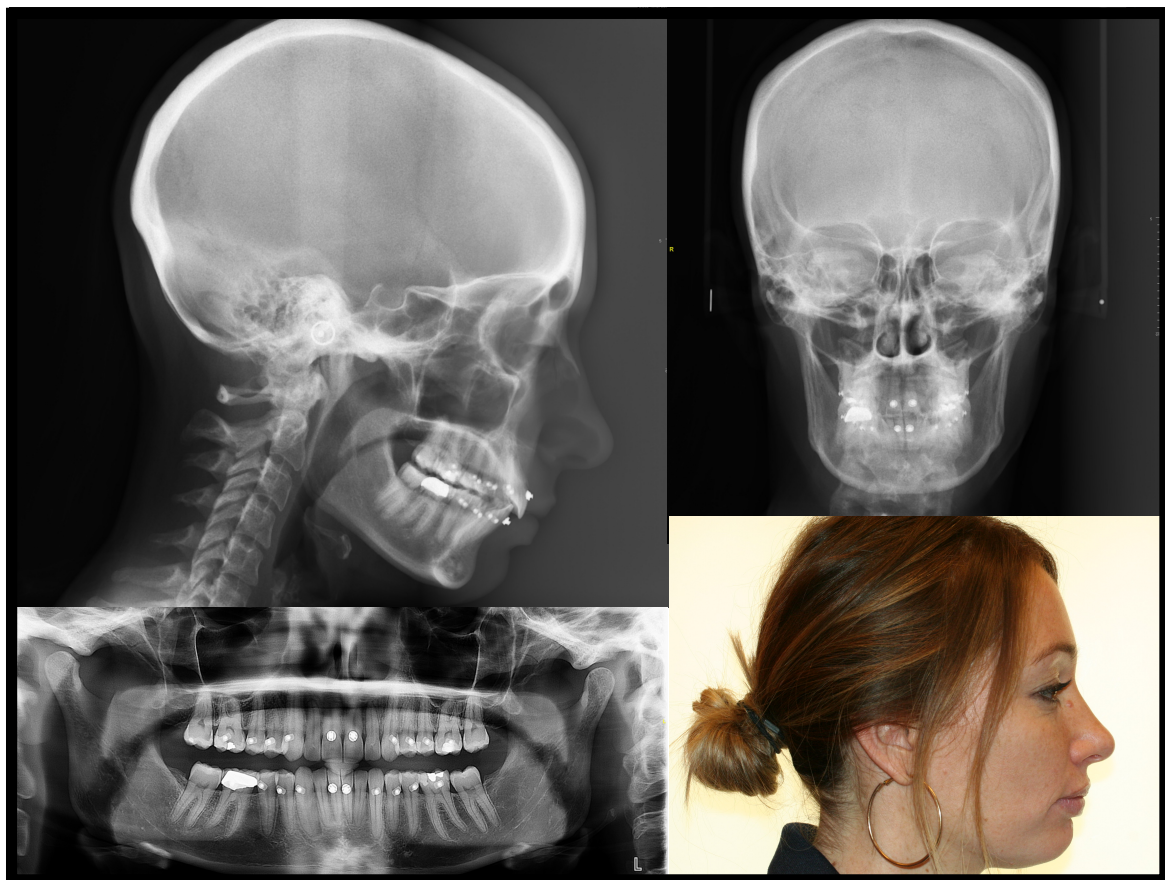


- Le patient est ensuite adressé pour la dernière consultation chirurgicale (le set-up chirurgical) avant chirurgie orthognathique.

### 3.3.10. Consultation de chirurgie maxillo-faciale préopératoire : « Surgical set-up visit »

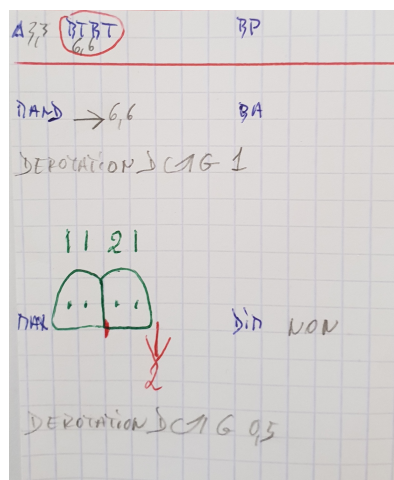
- Celle-ci doit avoir lieu un ou deux jours avant la chirurgie afin d'éviter les mouvements dentaires parasites pouvant survenir si cet intervalle est trop long, ce qui compliquerait l'intervention. Le prothésiste aura d'ores et déjà effectué des empreintes en vue de fabriquer les modèles en plâtre et plan d'occlusion juste avant cette visite ; ainsi, le chirurgien peut effectuer l'examen clinique du patient (en présence du prothésiste) avec ces moulages, le plan de morsure initial, les radiographies (Figure 86) et les photos afin d'obtenir le set-up chirurgical final.

*Figure 86: Bilan radiographique et photographique pré-opératoire*



- Les mouvements à effectuer pendant la chirurgie sont déterminés sur un articulateur à cette étape : les amplitudes de mouvements dans les plans transversal, sagittal et vertical sont définies pour corriger les anomalies occlusales et la dysmorphose dento-squelettique en vue d'obtenir les positions et relations idéales du maxillaire et/ou de la mandibule par rapport au reste du complexe cranio-facial (Figure 87).

*Figure 87: Exemple de set-up chirurgical avec avancée mandibulaire de 6,6mm, dérotation droite => gauche mandibulaire et maxillaire de 0,5 et 1 mm respectivement, horizontalisation (de l'obliquité occlusale) de 2 mm à gauche vers le bas.*

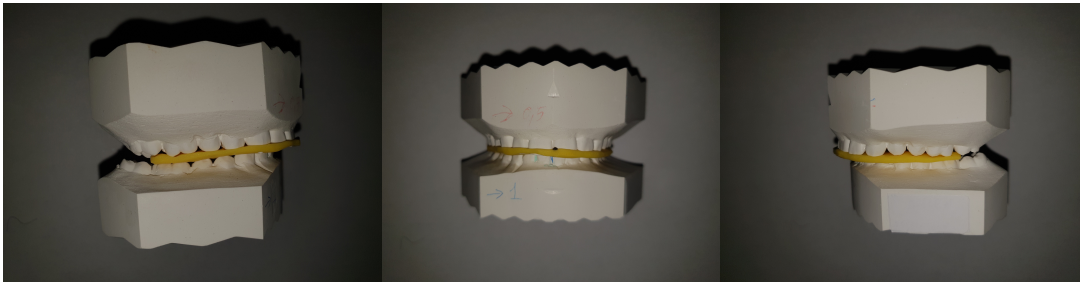


- Les plans d'occlusion (Figure 88) sont ensuite fabriqués par le prothésiste à la fin de cette consultation : plans initial (jaune), intermédiaire (si ostéotomie bimaxillaire [bleu]) et final (beige). Ces guides peuvent également être imprimés à partir d'une planification 3D via une imprimante 3D. Ceci permet de réaliser le transfert des informations recueillies sur articulateur lors de la planification chirurgicale (Figures 89, 90, 91) directement vers le temps chirurgical (79).

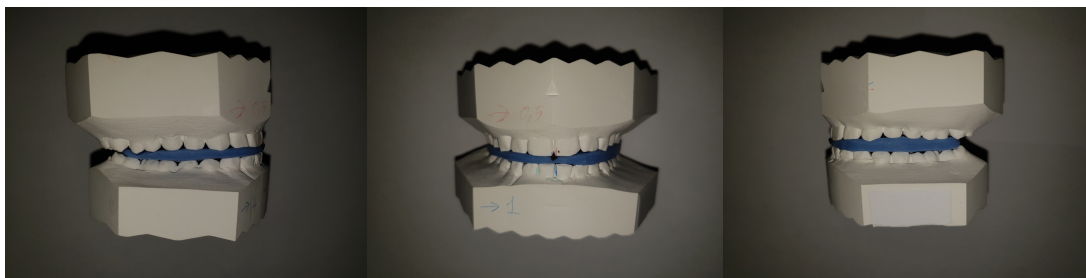
*Figure 88 : Plans d'occlusion : initial (jaune), intermédiaire (bleu), final (beige)*



*Figure 89 : Plan d'occlusion initial sur le modèle en plâtre (Classe II dento-squelettique)*



*Figure 90 : Plan d'occlusion intermédiaire sur le modèle en plâtre : avancée mandibulaire et dérotation*



*Figure 91 : Plan d'occlusion final sur le modèle en plâtre : avancée maxillaire*



- Une fois que cela est réalisé, l'intervention chirurgicale peut avoir lieu.

Nous sommes d'accord avec l'affirmation de Taub & Palermo selon laquelle «la chirurgie préparée sur articulateur avec modèles en plâtre, reflète la plus grande précision pour simuler des mouvements chirurgicaux » (72). Les modèles en plâtre sont plus précis que leurs homologues numériques (58). Par conséquent, nous recommandons de continuer à utiliser les modèles en plâtre pour effectuer le set-up chirurgical tant que cette affirmation restera vérifiée, même si, la planification sur modèles numériques 3D est plus facile, plus rapide et en plein essor.

### 3.3.11. Chirurgie orthognathique

- Nous utilisons la technique modifiée d'Obwegeser-Dalpont pour l'ostéotomie sagittale bilatérale de mandibule (OSBM) (62,63) et l'ostéotomie de Le Fort I pour le maxillaire (66) que nous avons décrit précédemment dans cet ouvrage.
- Alors que certaines équipes commencent par le positionnement maxillaire, d'autres commencent par la mandibule ; nous préférons commencer par la mandibule avec repérage condylien initial, puis nous procédons à l'ostéotomie du maxillaire qui est calé sur la mandibule préalablement positionnée et ostéosynthésée en utilisant le plan de morsure initial. Pour réaliser les différents blocages maxillo-mandibulaires, nous utilisons des fils métalliques serrés autour des boutons collés. Les différences concernant la préparation orthodontique en vue de la chirurgie sont débattues dans la discussion notamment au sujet du blocage maxillo-mandibulaire.
- La qualité de la préparation orthodontique est fondamentale pour le succès de la chirurgie orthognathique. Si la qualité de l'orthodontie préchirurgicale est essentielle à la réussite de

la chirurgie orthognathique, le traitement orthodontique postopératoire (finitions) l'est également. Par conséquent, seuls les orthodontistes possédant à la fois des connaissances et de l'expérience dans le domaine de l'orthodontie et notamment en Invisalign®, peuvent légitimement pratiquer la Clear Aligner Therapy et gérer le ClinCheck® avec précision et efficacité, surtout dans les cas complexes chirurgicaux. C'est l'excellence de la préparation orthodontique qui rend la chirurgie orthognathique plus simple et mène à des résultats plus stables. De plus, les connaissances de l'orthodontiste dans le domaine de la chirurgie orthognathique sont essentielles pour obtenir des résultats satisfaisants. Aussi, les orthodontistes doivent faire plus de concessions en utilisant Invisalign® qu'en utilisant un traitement orthodontique traditionnel (brackets, crochets et arc chirurgical), car ils doivent attacher les boutons de façon solide juste avant la chirurgie, ce qui est peut-être un peu plus fastidieux.

- Des élastiques intermaxillaires sont mis en place en fin d'intervention autour des boutons selon les compensations désirées en fonction du résultat chirurgical obtenu.

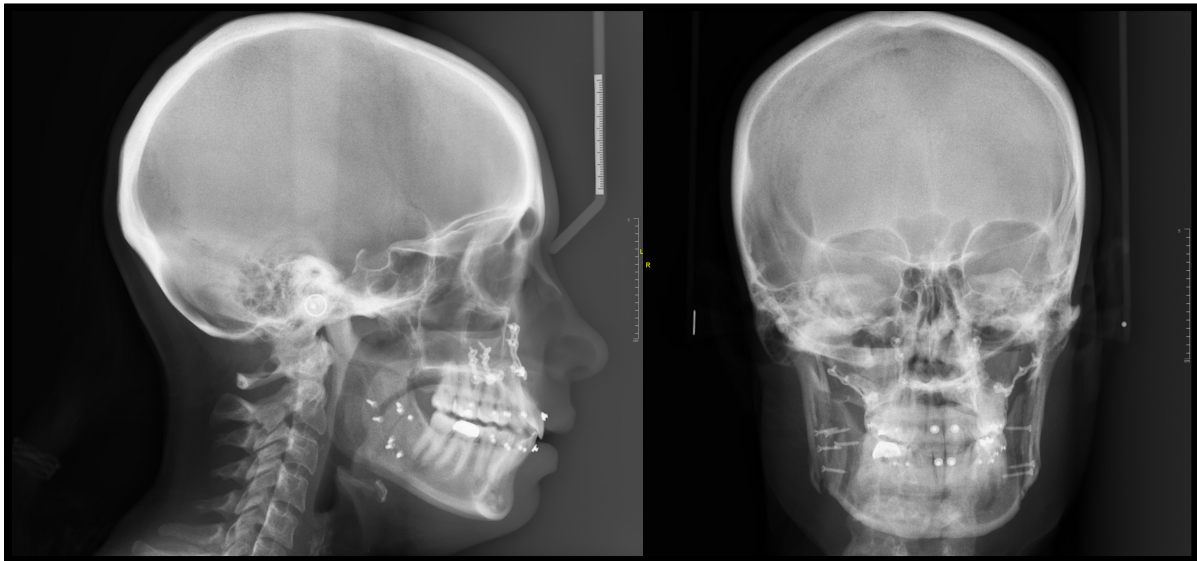
### 3.3.12. Temps d'hospitalisation postopératoire

- La 2<sup>de</sup> paire d'aligneurs neutres est coupée après les 1<sup>res</sup> molaires pour être adaptée à l'ouverture buccale postopératoire limitée des patients. Ceux-ci sont placés 1 à 2 jours après la chirurgie, alors que le patient est encore hospitalisé. Des radiographies de contrôle (téléradiographies de face et de profil, ainsi qu'un panoramique dentaire) devront être réalisées à ce moment-là.
- Si une disjonction intermaxillaire (DIM) est réalisée, une plaque palatine fabriquée par le prothésiste est mise en place à cette étape pour maintenir l'expansion (squelettique) ; le



patient doit la porter constamment durant autant de mois que de millimètres d'expansion réalisée (Figure 92). Pour maintenir l'expansion dentaire, c'est l'aligneur neutre préalablement chauffé qui entre en jeu.

*Figure 92: Téléradiographies de face et profil post-opératoires immédiates d'une ostéotomie bimaxillaire*



### 3.3.13. 1<sup>re</sup> consultation orthodontique postopératoire

- Tous nos orthodontistes revoient les patients deux semaines plus tard afin d'évaluer la position des élastiques intermaxillaires en vue d'affiner le résultat chirurgical (tendances classe II ou III) en utilisant des forces élastiques entre les arcades (élastiques en classe II ou III).

### 3.3.14. 2<sup>e</sup> consultation orthodontique postopératoire

- Un mois après la chirurgie, un nouveau modèle 3D numérisé est créé dans le ClinCheck®.

- Le 3<sup>e</sup> jeu d'aligneurs neutres est placé lorsque le patient peut avoir une ouverture buccale subnormale. Le 2<sup>e</sup> jeu d'aligneurs est identique au troisième, sauf que le 2<sup>e</sup> s'étend jusqu'à la première molaire à cause de l'ouverture buccale limitée, tandis que le 3<sup>e</sup> jeu englobe la totalité des 2<sup>es</sup> molaires.

### 3.3.15. Phase de finitions orthodontiques postopératoire

- Deux semaines après la consultation précédente, les aligneurs de finitions sont reçus et essayés sur le patient.
- L'ensemble des aligneurs de finitions sont confiés au patient qui devra les changer chaque semaine.
- Une consultation de contrôle est programmée tous les mois jusqu'à la fin de la phase de finitions qui dure généralement 6 mois post-chirurgie.
- Les boutons et le guidage élastique sont progressivement arrêtés (Figure 93) entre le 2<sup>e</sup> et le 6<sup>e</sup> mois postopératoire au moment le plus approprié déterminé par l'orthodontiste en fonction de la présence ou non de récurrences squelettiques maxillo-mandibulaires à gérer.

*Figure 93: Ablation progressive des boutons entre le 2<sup>ème</sup> et le 6<sup>ème</sup> mois post-opératoire*



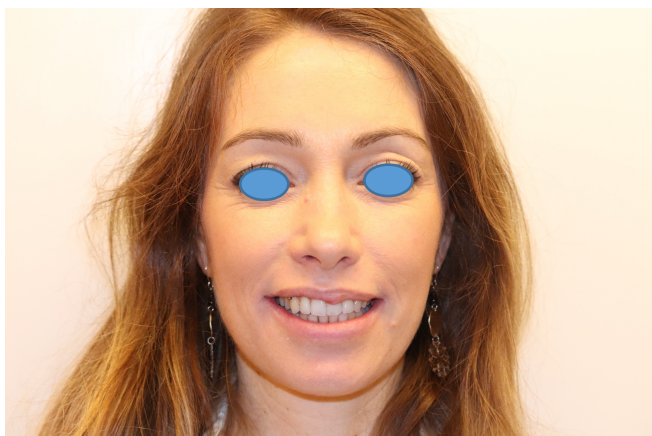
### 3.3.16. Consultations de chirurgie maxillo-faciale postopératoires

- Deux consultations en chirurgie maxillo-faciale sont programmées aux 2<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> mois postopératoires (Figures 94 et 95) ; le patient devra à chaque fois réaliser de nouvelles radiographies (téléradiographies de face et profil et panoramique dentaire) que le chirurgien devra analyser pour déceler toute rechute squelettique. Le chirurgien devra rechercher également les complications postopératoires (par exemple, la sensibilité du nerf alvéolaire inférieur).

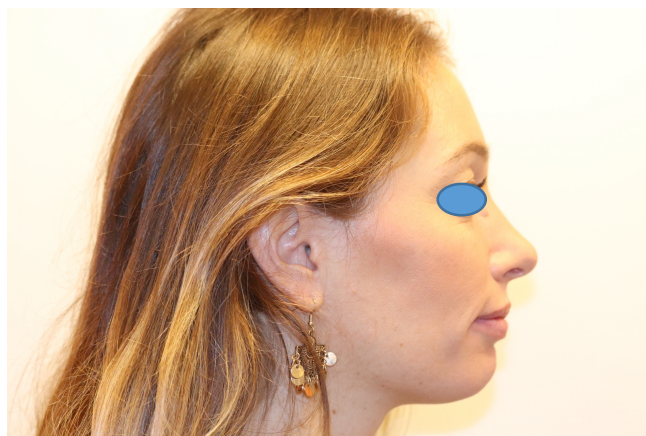
\*\*\*

La durée totale du traitement comprenant les étapes décrites ci-dessus s'étend généralement sur 18 mois en moyenne, phase de finitions incluse. La figure 96 expose les modèles finaux de la patiente présentée au travers des figures 82 à 95.

*Figure 94 : Photo de face en fin de traitement*



*Figure 95 : Photo de profil en fin de traitement*



*Figure 96 : Modèles en plâtre en fin de traitement : occlusion satisfaisante*



### 3.3.17. Phase de contention postopératoire

- Les orthodontistes réalisent au 6<sup>e</sup> mois postopératoire un nouveau scanner intra-oral afin de commander la série d'aligneurs neutres (de contention) à ne porter que la nuit pendant une période minimum de 1 an.
- Nous recommandons également d'ajouter un fil métallique de contention lingual fixé derrière les couronnes des canines et incisives et de le laisser in situ le plus longtemps possible afin d'éviter tout mouvement dentaire parasite potentiellement favorisé par le vieillissement et l'ostéoporose.

### 3.4. Discussion

L'intérêt de proposer un protocole orthodontico-chirurgical chez les patients traités par Invisalign® est né du manque de littérature spécifique à ce sujet : seuls trois articles ont jusqu'ici abordé conjointement ces deux problèmes et ne reprenaient que des cas cliniques individuels.

En 2005, Boyd a discuté de deux patients en classe III squelettique ayant bénéficié d'une préparation orthodontique combinant Invisalign® puis appareils multiattaches pour réaliser les mouvements difficiles restants (rotation et extrusion notamment dans l'un des cas) (68).

En revanche, nos cas ont été traités exclusivement par Invisalign®, et ce, grâce aux progrès et aux innovations réalisés dans le domaine de la CAT qui ont permis l'utilisation d'aligneurs toujours plus performants afin de réaliser des mouvements toujours plus complexes. Boyd a également préféré utiliser des appareils multiattaches pour assurer un blocage maxillo-mandibulaire solide et efficace, probablement parce que les boutons n'étaient pas suffisamment connus et fiables à cette époque. L'utilisation de brackets et crochets dans la phase de préparation préopératoire permet de réaliser le blocage maxillo-mandibulaire peropératoire sur plans d'occlusion, ce qui est fondamentalement différent de notre protocole basé exclusivement sur Invisalign® qui présente l'avantage de l'esthétique et du confort (40). Les finitions orthodontiques dans le 2<sup>e</sup> cas de Boyd ont été réalisées au moyen de brackets et crochets pendant les 4 mois postopératoires, alors que le présent protocole recommande l'utilisation d'Invisalign® pour effectuer les finitions. La durée totale du traitement a dépassé 3 ans pour le 1<sup>er</sup> cas de Boyd, contre 12 mois actuellement avec un traitement par CAT (48,80). Cette durée est amenée à 18 mois en moyenne pour un traitement orthodontico-chirurgical complet basé sur notre expérience (*cf.* 2<sup>e</sup> étude). Le 2<sup>e</sup> patient de Boyd a reçu un traitement par Invisalign® pendant 27 mois, suivi de la pose d'un appareil multiattaches 3 mois avant l'intervention, permettant le blocage maxillo-mandibulaire peropératoire et les finitions orthodontiques durant 4 mois (68); cette durée de traitement est également plus longue par rapport à notre pratique actuelle.

Marcuzzi traite dans son article, du diagnostic et du plan de traitement chez un patient présentant une malocclusion en classe III (71), mais n'aborde jamais en détail son protocole orthodontico-chirurgical reprenant les étapes nécessaires ainsi que la chronologie et les interactions entre le chirurgien et l'orthodontiste pour effectuer une préparation orthodontique par aligneurs. En revanche, il aborde un point important qui rejoint notre protocole ; il relate la mise en place de boutons métalliques juste avant l'intervention pour réaliser le blocage intermaxillaire nécessaire à la réalisation de l'ostéosynthèse. Nous proposons également ce type de boutons ; en revanche sur la partie visible des arcades dentaires, nous recommandons l'utilisation de boutons en céramique blancs ou transparents afin de répondre aux exigences esthétiques de nos patients et dans les régions postérieures l'utilisation de boutons métalliques de la même façon. Marcuzzi et al. ont utilisé le positionneur fonctionnel dynamique d'Osamu dans la phase de finitions afin d'obtenir une intercuspidation maximale (71), alors que notre protocole suggère à cet effet des aligneurs modernes issus des innovations récentes d'Invisalign® prenant en compte les modifications effectuées durant la chirurgie orthognathique. Le temps de préparation orthodontique dans l'article de Marcuzzi était de 6 mois (71), c'est-à-dire plus court que pour nos patients. Leur durée totale de traitement, chirurgie et finitions orthodontiques inclus était de 10 mois, avec un suivi d'un an (71), ce qui est plus court que dans notre expérience, probablement en raison de la complexité de nos cas par rapport au cas de malocclusion modérée de ce case-report (71).

L'article le plus récent abordant la chirurgie orthognathique avec préparation orthodontique par Invisalign® concerne le rapport de Pagani (69) publié en 2016 sur un patient en classe III squelettique. Il développe beaucoup plus que ses prédécesseurs, l'analyse du ClinCheck® et l'importance de l'orthodontiste dans les modifications de ce ClinCheck® et c'est ce que l'on souhaite souligner également dans notre protocole. En effet, même si les mouvements dentaires sont proposés par le VOT d'Invisalign®, seuls l'orthodontiste et son expérience peuvent mener au succès thérapeutique. Très souvent, les mouvements proposés au sein du ClinCheck® ne sont pas tout à fait précis et prédictibles et en particulier pour les mouvements complexes. Seules l'expertise et

l'expérience de l'orthodontiste ainsi que les modifications qu'il apporte au ClinCheck® sont les garants de la précision, de l'efficacité des mouvements envisagés et de la réussite thérapeutique. La durée du traitement par Invisalign® avant la chirurgie était de 10 mois dans le case-report de Pagani, ce qui se rapproche de notre expérience. Les aligneurs ont été changés tous les 15 jours dans son rapport, ce que nous suggérons également dans notre protocole. Le jour précédent la chirurgie, des brackets ont été collés pour réaliser le blocage intermaxillaire peropératoire. Cette étape rejoint également notre protocole puisque c'est à ce moment-là également que nous mettons en place les boutons collés.

Notre protocole se distingue de celui de Pagani puisque nous proposons l'utilisation de boutons en céramique, plus esthétiques et atraumatiques pour le parodonte, plus confortables et facilitant l'hygiène bucco-dentaire. Les brackets ont été retirés et de nouvelles empreintes ont été prises un mois après l'intervention (69), ce qui correspond à la période postopératoire de 2 à 6 mois évoquée dans notre protocole. Les finitions ont été également réalisées par Invisalign®. La durée totale du traitement, finitions incluses, était de 12 mois (69). Il s'agit d'une durée de traitement plus courte que dans notre expérience, probablement en raison de la complexité de nos cas: le patient de Pagani avait un léger encombrement avec un articulé croisé à gauche et une latérodéviation de mandibule (69), ce qui est très différent de la plupart de nos patients qui souffraient de malocclusions sévères nécessitant des finitions plus importantes.

La CAT est une technique intéressante avec un état de santé parodontal bien meilleur que celui retrouvé en présence d'appareils fixes, notamment en ce qui concerne l'indice de plaque dentaire (PLI) et l'indice de saignement du sulcus (SBI) (42).

La qualité de vie des patients est également améliorée (44), principalement en raison d'une diminution de l'inconfort et des douleurs par rapport à ceux traités par appareils multiattaches (40). Les patients Invisalign® requièrent moins de consultations (y compris les consultations d'urgence)

par rapport aux patients traités par appareils traditionnels et leur durée totale de traitement est bien plus courte (45,48).

Par conséquent, nous sommes convaincus que la CAT est une alternative à envisager chaque fois que cela est possible pour les praticiens (en fonction du type de cas) et les patients (coût) et ce, même dans les cas chirurgicaux.

Le blocage maxillo-mandibulaire est l'étape chirurgicale la plus importante, car elle garantit la précision et une stabilité occlusale parfaite pendant l'ostéosynthèse. D'ailleurs, nous estimons qu'une brève revue de la littérature sur ce sujet est appropriée dans cet article. Plusieurs méthodes de blocage maxillo-mandibulaire ont été décrites (81): Erich arch bar, vis de blocage intermaxillaire (IMF), boutons collés, etc.

L'avantage des vis IMF est que, lorsqu'elles sont correctement placées, le blocage est solide et stable. L'occlusion est donc fiable et constante. En revanche, les vis IMF nécessitent des incisions, provoquent des douleurs supplémentaires, modifient l'état du parodonte et peuvent aussi être recouvertes par la muqueuse (82). De plus, les vis IMF peuvent être mal positionnées. Il existe notamment un risque non négligeable de lésion des racines: une étude rapporte que 12,5% des vis ont causé des lésions au niveau des racines (83). Une autre a rapporté plusieurs cas de fractures dentaires et radiculaires (84). L'étude de Coburn a montré qu'il existait un risque non négligeable de fractures de ces vis à l'insertion de celle-ci, de lésions iatrogènes des dents provoquant à terme leur perte, mais également des séquestres osseux dans la zone où a été positionnée la vis (85).

Les arcs rigides présentent les mêmes inconvénients que les vis IMF (72) et nous ne recommandons pas leur utilisation.

L'« Erich arch bar » est la méthode de blocage la plus utilisée. Elle fournit des vecteurs de force précis et constitue une méthode fiable ; cependant, elle entraîne des effets indésirables tels que des lésions muqueuses, une durée d'intervention rallongée pour sa mise en place et son retrait et un indice de plaque dentaire accru (86). Les mêmes avantages et inconvénients sont valables pour les



appareils fixes (brackets et crochets) qui peuvent être attachés par l'orthodontiste (comme le faisait Boyd) uniquement en vue de la chirurgie orthognathique, mais il serait dommage de mettre en œuvre cette procédure orthodontique fastidieuse et de perdre le bénéfice esthétique notamment lors du guidage élastique postopératoire.

Les boutons en céramique sont à peine visibles et génèrent ainsi une satisfaction chez les patients. Ils améliorent également l'hygiène bucco-dentaire, sont atraumatiques pour le parodonte, permettent d'obtenir des vecteurs de forces précis et sont faciles et rapides à fixer. Les boutons sont très faciles à utiliser lors d'une intervention chirurgicale avec des fils métalliques. Aucune étude n'a été publiée sur le blocage intermaxillaire avec boutons, mais ils sont couramment utilisés depuis l'avènement d'Invisalign®.

Les boutons présentent quelques inconvénients qui peuvent être facilement évités ou surmontés ; en effet, les boutons peuvent être amenés à se décoller durant le blocage intermaxillaire. Il convient donc d'utiliser un bon adhésif et d'assurer que celui-ci soit en quantité suffisante pour garantir une fixation solide et résistante à la tension des fils métalliques.

Nous suggérons de placer les boutons en céramique sur les incisives centrales et les boutons en métal des canines aux 1<sup>res</sup> molaires, bien que les boutons en céramique soient connus pour être plus fragiles que leurs homologues en métal.

D'après notre expérience, les boutons en céramique ne se sont jamais brisés, mais ce problème potentiel peut aisément être mis de côté en ajoutant plus de boutons que nécessaire, comme décrit dans le protocole ci-dessus.

Après la sortie d'hospitalisation du patient, les boutons facilitent l'application et le retrait pluriquotidiens des élastiques par le patient. La gestion des élastiques est donc bien plus aisée, par rapport à celle en présence d'un appareil multiattaches.

En conclusion, nous considérons que les boutons en céramique et en métal sont la meilleure méthode de blocage maxillo-mandibulaire dans le cadre des traitements combinant chirurgie orthognathique et Invisalign® en raison de leurs nombreux avantages et de leur caractère atraumatique.

### 3.5. Conclusion

Le traitement combiné par CAT (Invisalign®) et chirurgie orthognathique est en plein essor dans le monde de l'orthodontie et de la chirurgie maxillo-faciale. Invisalign® est une solution alliant esthétique, hygiène bucco-dentaire, confort et facilité d'utilisation peropératoire au moyen de ces boutons. Ainsi, nous avons jugé nécessaire de concevoir un protocole complet visant à standardiser toutes les étapes du traitement combiné et de le partager avec les orthodontistes et chirurgiens spécialisés en orthognathique afin de le faire évoluer.

## 4. Efficacité d'Invisalign® combiné à la chirurgie orthognathique : étude comparative

### 4.1. Introduction

L'orthodontie par CAT a été très controversée notamment en matière d'efficacité au sein de la littérature. Les 1ers articles publiés au début des années 2000 (12,13), suggéraient de n'utiliser Invisalign® que pour les malocclusions dentaires légères à modérées.

Durant les 20 dernières années, les gouttières se sont modifiées tant sur le plan des matériaux utilisés que par leur forme ou les attaches en option que l'on peut ajouter.

La littérature s'est enrichie au sujet d'Invisalign® avec des cas rapportés de plus en plus complexes: cas d'extraction, open bite, deepbite... (15,87-90).

Les études ont élargi les indications d'Invisalign® au fil des années pour traiter des malocclusions modérées à sévères.

Peu de séries ont été publiées sur l'efficacité de Invisalign®. En 2017, Weir reprend les propos de Keim, l'éditeur du « Journal of Clinical Orthodontics », et déclare qu'aujourd'hui, la quasi-totalité des malocclusions peuvent être traitées avec succès par Invisalign® (91).

Celles qui ont été publiées utilisent le Peer Assessment Index (PAR) (49) ou encore le Model Grading System (MGS) par l'American Board of Orthodontics (ABO)(80,92,92-94) pour évaluer la qualité des résultats orthodontiques, et ce, de façon standardisée.

Jusque très récemment, aucun praticien n'utilisait la CAT dans les cas de dysmorphose dento-squelettique nécessitant un traitement combiné orthodontico-chirurgical.

Aucune étude à ce jour n'a évalué l'efficacité de Invisalign® sur des cas chirurgicaux à l'aide d'outils d'évaluation standardisée tels que celui de l'ABO en utilisant la dernière génération de gouttières Invisalign®.

Seuls des case-report ont été rapportés dans la littérature concernant ce traitement combiné orthodontico-chirurgical avec des résultats tout à fait honorables.

L'objectif principal de notre étude était donc de démontrer la non-infériorité en matière d'efficacité et de succès thérapeutique de Invisalign® comparé aux appareils labiaux fixes dans le cadre de patients présentant une dysmorphose dento-squelettique traitée chirurgicalement en utilisant le score d'évaluation standardisé appelé MGS ou Objective Grading System (OGS) ou encore Cast-Radiograph Évaluation (C-R Eval) de l'ABO. Le second objectif était de déterminer si le Discrepancy Index (DI) pouvait avoir une influence sur la durée du traitement, et si le DI pouvait avoir un impact sur le score final MGS.

#### 4.2. Matériel et Méthodes

Nous avons réalisé une étude rétrospective comparant 2 groupes dans laquelle nous avons recherché les patients ayant bénéficié d'un traitement combiné par Invisalign® (3<sup>e</sup> génération) et chirurgie orthognathique (OS) versus traitement par appareil labial fixe et chirurgie orthognathique dans le service de chirurgie maxillo-faciale des Hospices Civils de Lyon Croix Rousse.

Sur le plan éthique, il s'agit d'une étude non interventionnelle qui selon la loi Jardé de 2016 (95) ne nécessite pas le recueil du consentement des patients puisque cette étude n'a pas changé le protocole de prise en charge habituelle qui est en cours de publication dans l'*American Dental Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* (96). En revanche, une Déclaration Normale a dû être faite auprès de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) pour l'exploitation des données avec pour numéro de récépissé : 2170983v0.

Les cas étudiés ont tous été pris en charge entre 2016 et 2017.

L'orthodontie (OT) a été réalisée par 4 orthodontistes différents alors que la chirurgie orthognathique (OS) a été réalisée par le même opérateur (A.G.) du service de Chirurgie Maxillo-Faciale des Hospices Civils de Lyon, Croix Rousse.

Les critères d'inclusion étaient les suivants : malocclusion dentaire nécessitant le recours à un traitement par Invisalign® (groupe A, « *Invisalign* ») ou un traitement par appareil labial multiattaches (groupe B, « *braces* ») au niveau maxillaire et mandibulaire, les patients présentant

une dysmorphose dento-squelettique nécessitant une chirurgie orthognathique (OS) associée à la préparation orthodontique, les patients ayant terminé leur croissance et en dentition permanente.

Les critères d'exclusion étaient les suivants : les patients présentant une malformation craniofaciale congénitale (fentes labio-palatines, craniosténoses...), les patients ayant un état dentaire et parodontal très altéré, les cas avec extraction dentaire, les patients ayant déjà été pris en charge sur le plan orthodontique une 1<sup>re</sup> fois, les patients ayant déjà eu une 1<sup>re</sup> chirurgie orthognathique, les patients pour lesquels nous n'avons pas retrouvé les moulages en plâtre afin de réaliser nos différentes évaluations orthodontiques ou les radiographies nécessaires pour réaliser les différents scores de l'ABO (panoramique dentaire et téléradiographies de profil).

Différents temps ont été définis au sein du parcours thérapeutique du patient dans le cadre de notre étude : T0 : patient en période préorthodontique ; Tf : patient après finition orthodontique (fin de traitement).

Pour vérifier que nos échantillons de patients étaient bien similaires, nous avons recueilli l'âge, le sexe, la classe d'Angle, la sévérité de la malocclusion à traiter par un score standardisé appelé Discrepancy Index (DI) de l'ABO.

Il s'agit d'un score très utilisé dans la littérature pour étudier la complexité des cas en début de traitement (T0) sur les modèles en plâtre.

Nous avons retrouvé les moulages en plâtre préorthodontiques et ceux réalisés en fin de traitement. Le Discrepancy Index permet d'évaluer 8 critères en début de traitement orthodontique sur les modèles en plâtre initiaux : surplomb horizontal (overjet), surplomb vertical (overbite), béance antérieure (anterior open bite), béance latérale (lateral open bite), encombrement (crowding), relation occlusale (occlusal relationship), articulé croisé postérieur lingual (lingual posterior cross-bite), articulé croisé postérieur vestibulaire (buccal posterior cross-bite). Ces mesures se font sur les modèles en plâtre de façon précise, avec une bonne reproductibilité intra-examineur (répétabilité) et une bonne reproductibilité inter-examineur (97) et ce, grâce à cet outil décrit précédemment et permettant de rendre nos mesures fiables : l'ABO gauge.

2 autres critères complétaient ce score : données céphalométriques (cephalometrics datas) mesurées à l'aide du logiciel OrthoCAD (Align Technologies, Inc., San Jose, California), et la catégorie « autre » (other) détaillée dans la grille présentée précédemment et qui se trouve également en annexe(98).

L'évaluation des différents critères du DI a été réalisée par 2 examinateurs différents sur les moulages en plâtres dans notre étude.

Plus le score est élevé et plus les cas sont complexes. La sévérité des malocclusions était classée selon les seuils suivants de DI : légère : (7-15) ; modérée (16-24) et sévère ( $\geq 25$ ) en accord avec les guidelines de l'ABO (80,93).

L'évaluation de l'efficacité des traitements orthodontiques pour chaque groupe A et B s'est fait au temps (Tf) après finitions orthodontiques par un score standardisé appelé Objective ou Model Grading System (OGS ou MGS) ou Cast-Radiograph Évaluation Score de l'ABO (C-R Eval Score) détaillé précédemment et se trouvant également en annexe.

Le C-R Eval Score permet d'évaluer 8 critères en fin de traitement orthodontique : Alignement/Rotations ; Crêtes marginales (Marginal Ridges) ; Inclinaison bucco-lingual (Buccolingual Inclination) ; Surplomb horizontal (Overjet) ; Contacts occlusaux (Occlusal Contacts) ; Relation occlusale (Occlusal Relationship) ; Contacts interproximaux (Interproximal Contacts), Inclinaison des racines (Root Angulation).

L'ABO considère qu'un C-R Eval Score  $\leq 20$  points équivaut au succès thérapeutique, qu'un score  $\geq 30$  est un échec thérapeutique et qu'un score compris entre 21 et 29 points est potentiellement éligible au succès thérapeutique, mais doit être jugé au cas par cas (99). En général, un score  $\leq 27$  est considéré par l'ABO comme un succès thérapeutique (56).

Le C-R Eval Score a été réalisé également par 2 examinateurs différents sur les modèles finaux en plâtre à l'aide de la gauge de l'ABO.

Les 2 examinateurs ont réalisé préalablement un entraînement sur le Kit de Calibration (100) fourni par l'ABO avec la gauge afin de garantir une répétabilité optimale (fiabilité intra-examineur) des mesures afin d'évaluer le DI et le MGS.

En ce qui concerne la reproductibilité inter-examineur, 2 examinateurs ont donc calculé les scores initiaux : DI et scores finaux : MGS pour vérifier celle-ci.

#### *Analyse statistique :*

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel MedCalc®, version 18.9, Ostende, Belgique.

Les deux groupes ont été comparés en utilisant les tests suivants, avec des différences statistiquement significatives considérées acceptables entre les 2 échantillons lorsque P-value était suffisamment faible ( $P < 0,05$ ). Les variables qualitatives de catégories non ordonnées (genre, type de malocclusion et type d'OS) ont été comparées à l'aide du Chi-squared test. Les variables qualitatives de catégories ordonnées (niveaux de sévérité de la malocclusion, niveaux de succès pour le C-R Eval score total) ont été comparées à l'aide du Cochran-Armitage chi-squared test pour les tendances. Les variables continues (âge, durée du traitement) et les variables ordinales (score DI total, score C-R Eval score total et scores des différents critères compris au sein de ces scores totaux) ont été vérifiées pour la distribution normale par le test de Shapiro-Wilk. Les variables continues dont la distribution n'était pas normale ont été comparées avec le test de Mann-Whitney pour les échantillons indépendants, tandis que leurs homologues, dont la distribution est apparue comme normale, ont été comparés au t-test pour les échantillons indépendants (avec des variances égales ou des corrections pour les variances inégales ainsi déterminées par la réalisation d'un F-test au préalable). Le degré de corrélation entre deux variables continues ou ordinales, à savoir : Score DI total versus durée du traitement et score DI total versus C-R Eval score total, ont été évalués par le coefficient de corrélation de Spearman rho et de Kendall's tau, avec des intervalles de confiance à 95% (CI) et des P-value. La reproductibilité inter-examineur des scores DI et C-R Eval score

totaux a été déterminé au moyen de trois mesures : [1] le « *relative Technical Error of Measurement* » (% TEM), [2] le Coefficient de Corrélacion Intraclasse (ICC) avec des intervalles de confiance à 95% (IC) (même examinateur pour tous les sujets), et [3] le « linear-weighted Kappa.

### 4.3. Résultats

46 patients ont donc été inclus dans cette étude. 23 patients dans le groupe A, « *Invisalign* » et 23, dans le groupe contrôle B, « *braces* ».

Les 2 échantillons de patients étaient similaires avec une distribution des sexes sans différence significative avec une proportion plus importante de femmes dans les 2 groupes : 61% de femmes versus 39% d'hommes avec un p-value à 1 au Chi-squared test.

De même la distribution des âges était similaire avec une médiane à 28 ans dans les 2 groupes avec respectivement pour le groupe Invisalign® et le groupe contrôle : [IC 95% : 26.0-31.0] et [IC 95% : 21,2-34,3] avec un P=0,621 au test de Mann-Whitney (Table 1).

De même, la proportion des différentes classes d'Angle à T0 était similaire dans les 2 groupes (P=0,984) avec une proportion plus importante de classes II division 1 dans les 2 groupes par rapport aux classes III et classes II division 2 : P=0,8785 au Chi-squared test.

La sévérité des malocclusions dans le groupe A (moyenne [ $\pm$ Déviacion Standard : SD] score DI total 30,6 [ $\pm$ 8,8]) était très similaire à celle du groupe B (moyenne [ $\pm$ SD] score DI total 30,8 [ $\pm$ 11,8], P=0,944). En outre aucun des 10 critères du DI ne montrait de différence statistiquement significative entre les 2 groupes (Table 1). Ces résultats étaient tout à fait similaires lorsque le score DI total était transposé à partir de variables ordinales en niveaux de sévérité de malocclusions, comme le suggèrent les recommandations de l'ABO pour le DI : légère, modérée, sévère, sans différence statistiquement significative entre les 2 groupes (P=0,281) (Table 1).



On retrouvait plus de patients avec une malocclusion sévère (78%) dans le groupe A que dans le groupe B (70%), mais il n'y avait pas de différence statistiquement significative au Chi-squared test avec une  $P=0,34$  (Table 1).

On ne retrouvait pas de patients avec malocclusion de sévérité légère dans le groupe A contrairement au groupe B avec 2 patients.

La reproductibilité inter-examineur en matière de score total du DI était très bonne (Table 2).

**Table 1.** Comparative characteristics before treatment (T0).

Pre-therapeutic attributes	Group A ("Invisalign") [N = 23]	Group B ("braces") [N = 23]	P-value
<i>Age, years</i>			
Mean ( $\pm$ SD)	29.1 ( $\pm$ 7.3)	28.3 ( $\pm$ 9.2)	0.6209 <sup>a</sup>
Median [IQR]	28 [26 – 31]	28 [20.5 – 35]	
<i>Gender distribution, N (%)</i>			
Male	9 (39%)	9 (39%)	1.0000 <sup>b</sup>
Female	14 (61%)	14 (61%)	
<i>Malocclusion distribution, N (%)</i>			
Class II, div.1	10 (43.5%)	11 (47.8%)	0.9840 <sup>b</sup>
Class II, div.2	5 (21.7%)	4 (17.4%)	
Class III	7 (30.4%)	7 (30.4%)	
Anterior open bite	1 (4.4%)	1 (4.4%)	
<i>Discrepancy Index (DI), points</i>			
<i>Overjet</i>			
Mean ( $\pm$ SD)	4.0 ( $\pm$ 3.0)	5.1 ( $\pm$ 4.1)	0.5874 <sup>a</sup>
Median [IQR]	5 [0 – 5]	5 [2.5 – 5.5]	
<i>Overbite</i>			
Mean ( $\pm$ SD)	1.7 ( $\pm$ 1.8)	1.5 ( $\pm$ 2.1)	0.5437 <sup>a</sup>
Median [IQR]	2 [0 – 3]	0 [0 – 2.5]	
<i>Anterior open bite</i>			
Mean ( $\pm$ SD)	1.7 ( $\pm$ 3.2)	1.8 ( $\pm$ 3.4)	0.7564 <sup>a</sup>
Median [IQR]	0 [0 – 2]	0 [0 – 2.5]	
<i>Lateral open bite</i>			
Mean ( $\pm$ SD)	1.8 ( $\pm$ 1.9)	2.1 ( $\pm$ 4.0)	0.2482 <sup>a</sup>
Median [IQR]	2 [0 – 4]	0 [0 – 2]	
<i>Crowding</i>			
Mean ( $\pm$ SD)	1.8 ( $\pm$ 2.0)	1.3 ( $\pm$ 2.1)	0.1620 <sup>a</sup>
Median [IQR]	2 [0 – 2]	0 [0 – 1.5]	
<i>Occlusal relationship</i>			
Mean ( $\pm$ SD)	5.6 ( $\pm$ 2.6)	5.5 ( $\pm$ 2.8)	0.9726 <sup>a</sup>
Median [IQR]	6 [4 – 8]	6 [4 – 8]	
<i>Lingual posterior cross-bite</i>			
Mean ( $\pm$ SD)	0.7 ( $\pm$ 1.1)	1.1 ( $\pm$ 2.2)	0.8323 <sup>a</sup>
Median [IQR]	0 [0 – 2]	0 [0 – 1]	
<i>Buccal posterior cross-bite</i>			
Mean ( $\pm$ SD)	0.2 ( $\pm$ 0.5)	0.1 ( $\pm$ 0.4)	0.3711 <sup>a</sup>
Median [IQR]	0 [0 – 0]	0 [0 – 0]	
<i>Cephalometrics</i>			
Mean ( $\pm$ SD)	10.6 ( $\pm$ 7.6)	10.3 ( $\pm$ 8.3)	0.7582 <sup>a</sup>
Median [IQR]	9 [6 – 12.5]	8 [5 – 17]	
<i>Other</i>			
Mean ( $\pm$ SD)	2.6 ( $\pm$ 2.5)	2.1 ( $\pm$ 2.3)	0.5356 <sup>a</sup>
Median [IQR]	2 [0 – 5]	2 [0 – 3]	
<i>Total DI score</i>			
Mean ( $\pm$ SD)	30.6 ( $\pm$ 8.8)	30.8 ( $\pm$ 11.8)	0.9440 <sup>c</sup>
Median [IQR]	30 [25 – 35.5]	29 [22.5 – 40.5]	
<i>Distribution by malocclusion severity levels by total DI score, N (%)</i>			
Mild (7 – 15)	0 (0%)	2 (8.7%)	0.2805 <sup>d</sup>
Moderate (16 – 24)	5 (21.7%)	5 (21.7%)	
Severe ( $\geq$ 25)	18 (78.3%)	16 (69.6%)	

<sup>a</sup> Mann-Whitney U test for independent samples, Normal distribution rejected;

<sup>b</sup> two-tailed chi-squared test;

<sup>c</sup> t-test for independent samples, with equal variances, Normal distribution proven;

<sup>d</sup> two-tailed chi-squared trend test for ordered categories.

Acronyms: SD – standard deviation; IQR – interquartile range (between 25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> percentiles); DI – Discrepancy Index of the American Board of Orthodontics.

**Table 2.** Inter-examiner agreement of the DI scores before treatment (T0)

Group A ('Invisalign')			
DI score: mean ± SD	Main rater: 30.61 ± 8.85	Second rater: 30.91 ± 8.69	
%TEM	3.07%		
ICC [95% CI]	0.9942 [0.9864 – 0.9975]		
Linear-weighted Kappa [95% CI]	0.9065 [0.8524 – 0.9605]		
Group B ('Braces')			
DI score: mean ± SD	Main rater: 30.83 ± 11.82	Second rater: 30.78 ± 11.39	
%TEM	2.09%		
ICC [95% CI]	0.9985 [0.9964 – 0.9993]		
Linear-weighted Kappa [95% CI]	0.9487 [0.9203 – 0.9771]		

DI - discrepancy index of the American Board of Orthodontics; SD – standard deviation; %TEM - relative technical error of measurement; ICC - intra-class correlation coefficient for the average of 2 ratings; 95% CI - 95% confidence interval

La technique chirurgicale utilisée était l'ostéotomie sagittale bilatérale de mandibule selon la technique d'Obwegeser-Dalpont modifiée et l'ostéotomie maxillaire de type Le Fort I selon la technique décrite par René Le Fort.

La répartition des techniques chirurgicales réalisées dans les 2 groupes ne présentait pas de différence statistiquement significative avec quasiment la moitié des patients ayant bénéficié d'une ostéotomie bimaxillaire ( $\pm$  associé à des gestes complémentaires comme des contractions mandibulaires, disjonctions intermaxillaires et génioplasties) ou des ostéotomies sagittales de mandibule ou Le Fort I isolées ( $P=0,156$ ) (Table 3).

L'étude de la durée totale du traitement combiné a montré une différence statistiquement significative au test de Mann-Whitney (médiane [IC95%]). La durée totale était significativement plus courte dans le groupe A (18,6 [17,6-19,6] mois) par rapport au groupe B (24,1 [22,0-26,1] mois),  $p<0,0001$ ) (Table 3, Figure 97).

En ce qui concerne l'efficacité de ces 2 préparations orthodontiques dans le traitement combiné avec chirurgie orthognathique, aucune de ces 2 techniques n'apparaît meilleure lorsque l'on se réfère au C-R Eval Score (MGS) (médiane [IC95%]) au temps Tf. En effet, le C-R Eval Score pour le groupe

« *Invisalign* » était de 26 [24,3-27,0] contre 27 [23,3-28,0] pour le groupe « *braces* »,  $P=1,00$  et donc statistiquement sans différence significative.

En revanche, lorsque l'on regarde les différents critères étudiés, on note qu'il existe des différences statistiquement significatives où la Clear Aligner Therapy s'affiche clairement, comme plus efficace pour certains alors que pour d'autres c'est la méthode traditionnelle qui dépasse Invisalign®. Par exemple, il existe une différence statistiquement significative pour l'alignement (médiane [IC95%]) où Invisalign® est plus efficace avec un score = 2 [1,34-4] contre un score= 7 [6-8] pour le groupe B, ( $p<0,0001$ ) (Table 3, Figure 97).

À l'inverse, les appareils fixes sont nettement plus efficaces pour les contacts occlusaux (médiane [IC95%]) avec un score=5 [3,34-6,65] contre un score=10 [6,34-11,0], dans le groupe A, ( $p = 0,0001$ ).

L'inclinaison bucco-linguale (médiane [IC95%]) semble être mieux maîtrisée par les appareils fixes avec un score=2 [1-2,65] versus 4 [3,0-5,0] pour le groupe A, ( $p=0,0003$ ).

On note des différences statistiquement significatives pour l'inclinaison des racines (médiane [IC95%]) avec respectivement un score=1 [0-2,65] et 3 [1-5] pour le groupe A et B, ( $p=0,016$ ) (Table 3, Figure 97).

En ce qui concerne les autres critères : crêtes marginale, overjet, relation occlusale, on ne retrouvait aucune différence statistiquement significative avec une P-value respectivement de 0,69 ; 0,49 et 0,81 (Table 3).

Pour les contacts interproximaux, les 2 groupes ont des résultats proches de 0 et donc des différences cliniquement insignifiantes, alors qu'il existe une différence statistiquement significative avec un  $p=0,0172$  ; en effet, les résultats sont significativement meilleurs pour le groupe A (Table 3, Figure 97).

Dans notre étude, on note qu'il existe un manque de différence statistiquement significative entre les 2 groupes au sein des différentes catégories de score OGS de l'ABO ( $P=0,736$ ) ; on remarque que la majorité des patients se situe dans la catégorie : succès « *borderline* » (entre 21 et

29) avec respectivement 74% et 87% pour le groupe A et B. Seulement 9 % (groupe A) et 4% des patients (groupe B) ont un score OGS  $\leq 20$  et donc un nombre très faible de patients sont considérés d'office comme un succès thérapeutique. De même seulement 17% (A) et 9% (B) des patients sont en échec thérapeutique avec un score OGS  $\geq 30$ .

Autrement dit, si l'on définit l'efficacité partielle ou complète du traitement par un score  $\leq 29$  selon l'ABO: 83 % des patients dans le groupe Invisalign® versus 91% dans le groupe multiattaches seraient considérés comme un éventuel succès thérapeutique (Table 3).

**Table 3.** Comparative characteristics during treatment and after its completion (Tf)

Intra- and post-therapeutic attributes	Group A ("Invisalign") [N = 23]	Group B ("braces") [N = 23]	P-value
Surgical techniques' distribution, <i>N</i> (%)			
BSSO	5 (21.7%)	0 (0%)	0.1557 <sup>a</sup>
Le Fort I	3 (13.0%)	2 (8.7%)	
BSSO + Le Fort I	5 (21.7%)	10 (43.5%)	
BSSO + other procedure(s)	4 (17.4%)	3 (13.0%)	
Le Fort I + other procedure(s)	1 (4.3%)	3 (13.0%)	
BSSO + Le Fort I + other procedure(s)	5 (21.7%)	5 (21.7%)	
Total treatment length, <i>months</i>			
Mean ( $\pm$ SD)	18.6 ( $\pm$ 2.3)	24.1 ( $\pm$ 4.7)	<0.0001 <sup>b</sup>
Median [IQR]	19 [16.5 – 20]	23 [20.5 – 27]	
C-R Eval score, <i>points</i>			
Total alignment			
Mean ( $\pm$ SD)	2.7 ( $\pm$ 2.1)	6.9 ( $\pm$ 2.1)	<0.0001 <sup>c</sup>
Median [IQR]	2 [1 – 4]	7 [6 – 8.5]	
Marginal ridges			
Mean ( $\pm$ SD)	2.1 ( $\pm$ 1.1)	2.2 ( $\pm$ 1.2)	0.6919 <sup>d</sup>
Median [IQR]	2 [1.5 – 3]	2 [2 – 3]	
Buccolingual inclination			
Mean ( $\pm$ SD)	4.2 ( $\pm$ 1.9)	2.0 ( $\pm$ 1.5)	0.0001 <sup>c</sup>
Median [IQR]	4 [3 – 5.5]	2 [1 – 3]	
Overjet			
Mean ( $\pm$ SD)	3.2 ( $\pm$ 2.1)	2.9 ( $\pm$ 2.2)	0.6306 <sup>c</sup>
Median [IQR]	3 [1.5 – 5]	2 [1.5 – 4]	
Occlusal contacts			
Mean ( $\pm$ SD)	9.6 ( $\pm$ 3.9)	4.9 ( $\pm$ 2.6)	<0.0001 <sup>c</sup>
Median [IQR]	10 [6 – 11.5]	5 [3 – 7]	
Occlusal relationship			
Mean ( $\pm$ SD)	3.4 ( $\pm$ 2.3)	3.3 ( $\pm$ 2.5)	0.8162 <sup>d</sup>
Median [IQR]	3 [2 – 4]	3 [1 – 5.5]	
Interproximal contacts			
Mean ( $\pm$ SD)	0.09 ( $\pm$ 0.3)	0.6 ( $\pm$ 0.9)	0.0172 <sup>d</sup>
Median [IQR]	0 [0 – 0]	0 [0 – 1]	
Root angulation			
Mean ( $\pm$ SD)	1.6 ( $\pm$ 1.7)	3.2 ( $\pm$ 2.2)	0.0116 <sup>d</sup>
Median [IQR]	1 [0 – 3]	3 [1 – 5]	
Total C-R Eval score			
Mean ( $\pm$ SD)	26.8 ( $\pm$ 6.2)	26.1 ( $\pm$ 4.9)	1.000 <sup>d</sup>
Median [IQR]	26 [24 – 28]	27 [23 – 28]	
Distribution by treatment success levels according to total C-R Eval score, <i>N</i> (%)			
Successful treatment ( $\leq$ 20)	2 (8.7%)	1 (4.3%)	0.7361 <sup>e</sup>
Intermediate therapeutic success (21 - 29)	17 (73.9%)	20 (87.0%)	
Failed treatment ( $\geq$ 30)	4 (17.4%)	2 (8.7%)	

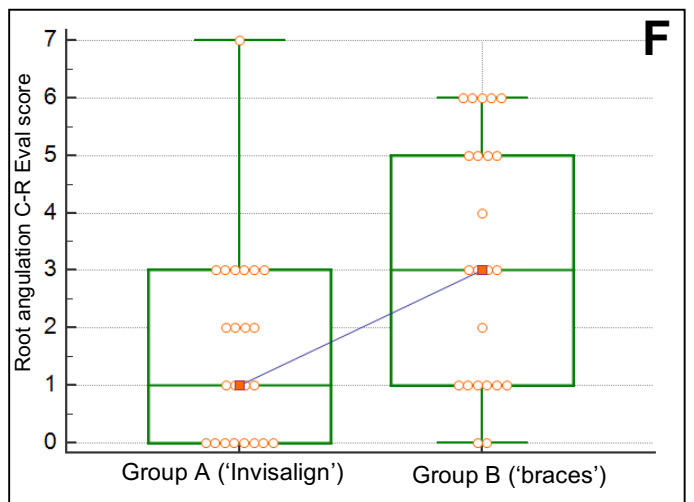
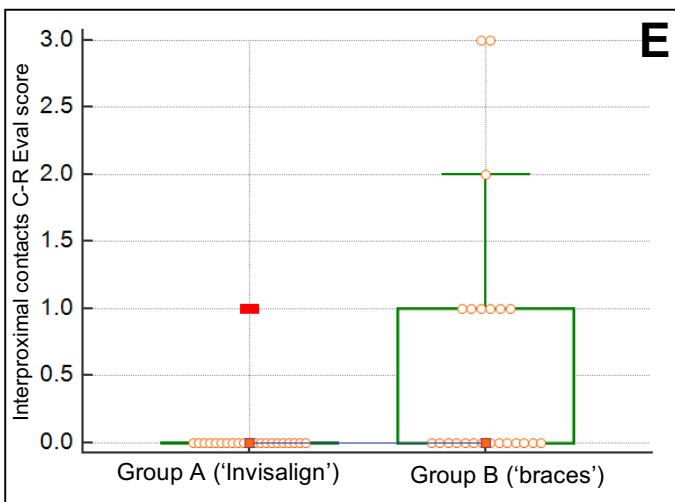
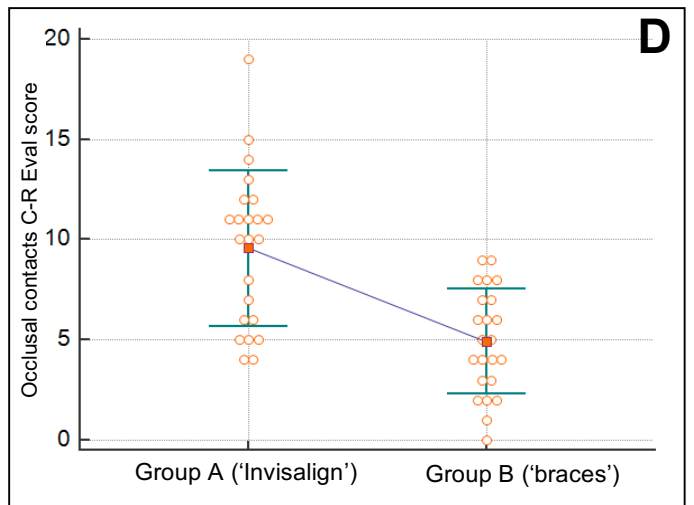
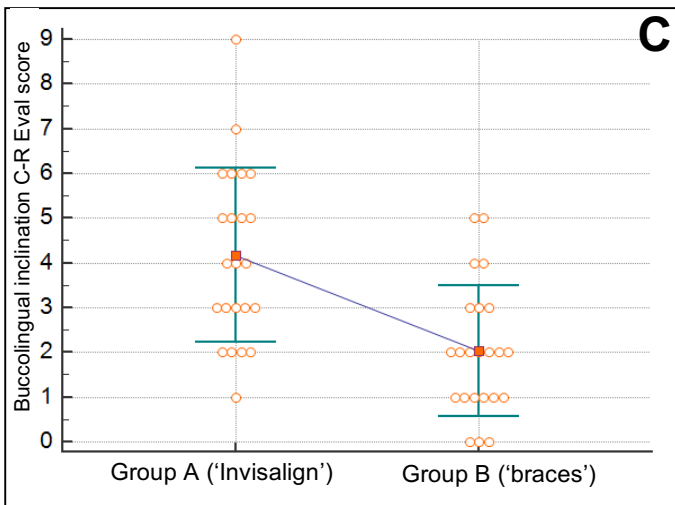
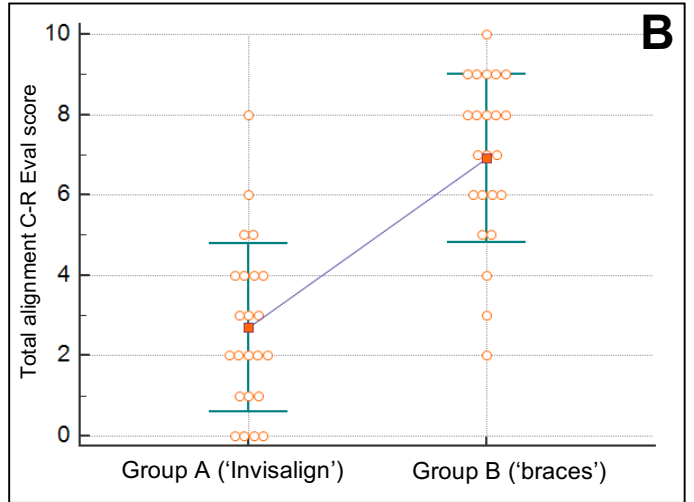
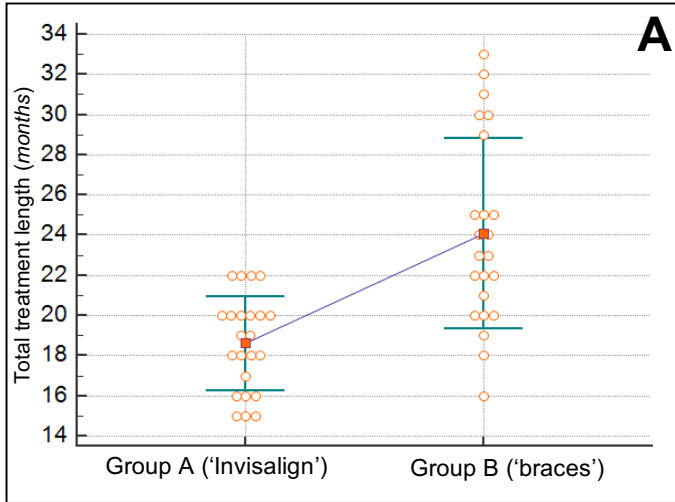
<sup>a</sup> two-tailed chi-squared test;<sup>b</sup> t-test with correction for unequal variances (F-test  $P < 0.05$ ), Normal distribution proven;<sup>c</sup> t-test for independent samples with equal variances, Normal distribution proven;<sup>d</sup> Mann-Whitney U test for independent samples, Normal distribution rejected.<sup>e</sup> two-tailed chi-squared trend test for ordered categories.

Acronyms: BSSO – bilateral sagittal split osteotomy; SD – standard deviation; IQR – interquartile range (between 25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> percentiles); C-R Eval – Cast-Radiograph Evaluation (a.k.a. Model Grading System) of the American Board of Orthodontics.

P values  $> 0.05$  are displayed in boldface.

*Figure 97 : Temps total de traitement et score MGS individuel avec différences statistiquement significatives entre les 2 groupes :*

- A. Temps total de traitement (mois) } T-test
- B. Score : alignement } T-test
- C. Score : inclinaison bucco-lingual } T-test
- D. Score : contacts occlusaux } Test de Mann-Whitney
- E. Score : contacts interproximaux } Test de Mann-Whitney
- F. Score : inclinaison des racines } Test de Mann-Whitney



L'objectif secondaire de notre étude était de répondre à la question de l'influence du DI sur la durée totale du traitement et le score final OGS.

On remarque que le DI a une influence sur la durée du traitement dans les 2 groupes.

Plus le DI est élevé et plus la durée totale du traitement augmente, et ce, de façon statistiquement significative avec un coefficient de Spearman=0,922,  $p<0,0001$ , un Kendall's Tau =0,807,  $p<0,0001$  pour le groupe « *Invisalign* » montrant une excellente corrélation ; ces valeurs sont similaires dans le groupe contrôle : coefficient de Spearman=0,815,  $p<0,0001$  et Kendall's Tau=0,660,  $p<0,0001$  montrant une bonne corrélation (Figure 98).

En revanche le DI ne semble pas avoir d'influence sur le C-R Eval Score avec une p-value  $> 0,05$  pour le coefficient de Spearman et le Kendall's Tau dans les 2 groupes (Figure 98).



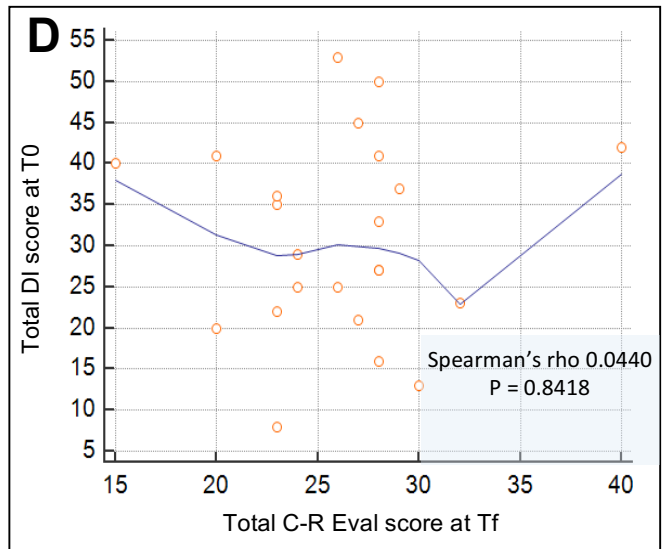
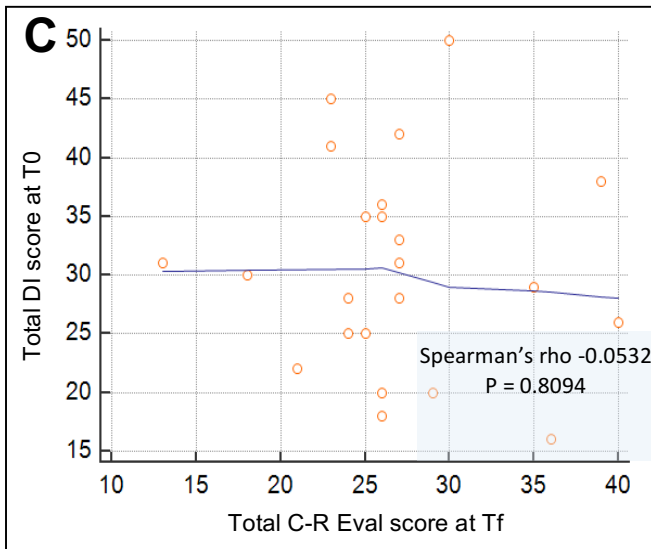
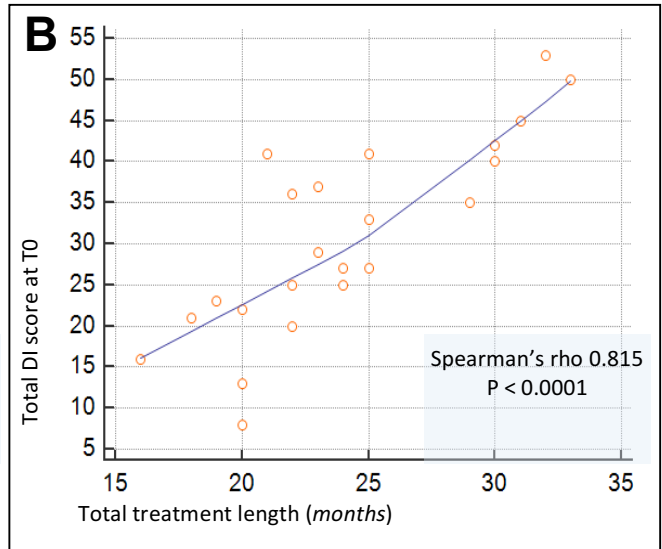
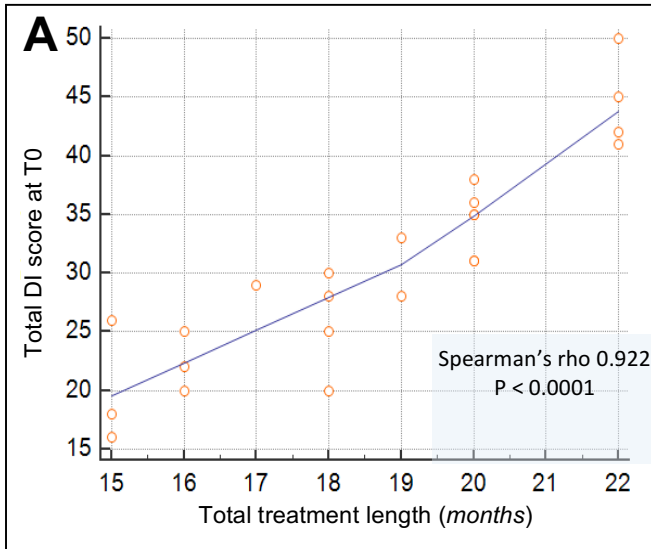
**Figure 98 : Diagrammes de corrélation :**

Diagrammes exposant les corrélations en DI et durée totale du traitement

- A. Groupe « Invisalign »
- B. Groupe « braces »

Diagrammes exposant les corrélations entre DI et MGS

- C. Groupe « Invisalign »
- D. Groupe « Braces »



La reproductibilité inter-examineur en matière de score total MGS était très bonne (Table 4).

**Table 4.** Inter-examiner agreement of total Cast-Radiograph Evaluation scores after treatment completion (Tf)

<b>Group A ('Invisalign')</b>		
Total C-R Eval score: mean ± SD	Main rater: 26.83 ± 6.20	Second rater: 26.83 ± 6.34
%TEM		1.90%
ICC [95% CI]	0.9967 [0.9921 – 0.9986]	
Linear-weighted Kappa [95% CI]	0.9141 [0.8609 – 0.9673]	
<b>Group B ('braces')</b>		
Total C-R Eval score: mean ± SD	Main rater: 26.09 ± 4.86	Second rater: 26.22 ± 4.84
%TEM		3.04%
ICC [95% CI]	0.9864 [0.9682 – 0.9942]	
Linear-weighted Kappa [95% CI]	0.8262 [0.7318 – 0.9206]	

C-R Eval – Cast-Radiograph Evaluation of the American Board of Orthodontics; SD – standard deviation; %TEM - relative technical error of measurement; ICC – intra-class correlation coefficient for the average of 2 ratings; 95% CI – 95% confidence interval.

#### 4.4. Discussion

Il n'existe que peu d'études abordant le traitement combiné par Invisalign® associé à la chirurgie orthognathique.

Il n'existe que 4 « case-report » retrouvés dans la littérature concernant des cas orthodontico-chirurgicaux traités par Invisalign® (68–71), et 2 protocoles très récents de prise en charge pour ce traitement combiné se focalisant sur le blocage maxillo-mandibulaire peropératoire (72,73). Aucune série n'a été publiée à ce jour.

En ce qui concerne les « case-report », le 1er article mené par Boyd R.L en 2005 (68) aborde 2 patients en classe III dento-squelettique. Ces patients ont bénéficié d'un traitement par Invisalign® pendant une durée de 2 à 3 ans puis, 3 mois avant la chirurgie, ont bénéficié d'un traitement orthodontique conventionnel avec, après la chirurgie, des finitions orthodontiques réalisées également par ce traitement. Le résultat fonctionnel et esthétique était très satisfaisant.

En 2010, l'équipe de Marcuzzi(71) réalise également un case-report évoquant la prise en charge orthodontico-chirurgicale d'une patiente en classe III dento-squelettique avec absence des incisives latérales maxillaires. On retrouve des durées de traitement réduites par rapport à Boyd (68) et se rapprochant des études plus récentes ainsi que de notre série avec 10 mois de traitement au total pour un résultat esthétique et fonctionnel excellent. Il s'agit d'une durée plus réduite, car il ne s'agissait pas de cas de malocclusions complexes comme dans notre série.

En 2013, Pagani (69) réalise un case-report sur un patient de 23 ans avec une Classe III avec une latérodéviation mandibulaire gauche et un cross-bite concernant les dents 23 et 24. Un traitement par Invisalign® est initié pendant une durée de 10 mois à l'issue desquels une chirurgie orthognathique est réalisée. Des finitions orthodontiques sont réalisées par Invisalign® sur une durée de 2 mois avec un excellent résultat esthétique et fonctionnel. Ce cas

ressemble tout à fait à l'ensemble des cas de notre étude avec une durée totale se rapprochant de la nôtre. Cette étude diverge sur un point : le blocage intermaxillaire réalisé à l'aide de brackets et crochets posés en pré opératoire avec la perte des bénéfices esthétique et de confort pour le patient.

Notre étude a permis de répondre à nos 2 objectifs :

Tout d'abord, il n'existe pas de différences statistiquement significatives en matière de score totaux pour l'OGS et donc aucune différence en termes d'efficacité entre le groupe Invisalign® et le groupe traité par appareils multiattaches dans le cadre des dysmorphoses dento-squelettiques nécessitant un traitement par chirurgie orthognathique associé.

En revanche, lorsque l'on regarde les scores au sein de chaque critère, on constate qu'Invisalign® est plus efficace dans l'alignement alors que le traitement conventionnel va être plus efficace dans les mouvements des régions postérieures notamment en ce qui concerne les mouvements d'égression du bloc prémolo-molaire (contacts occlusaux), mais aussi en matière d'inclinaison bucco-linguale. Tout ceci est corroboré par l'étude de Weihong Li (93) qui montre que les 2 groupes sont similaires pour 6 critères OGS sauf pour l'inclinaison bucco-linguale et les contacts occlusaux où les appareils fixes sont plus efficaces. Il s'agit d'une des seules études de la littérature avec un niveau de preuve de grade A. En revanche, il n'existe pas de différence statistiquement significative en ce qui concerne l'alignement dans cette étude, mais on constate tout de même une tendance en faveur d'un alignement plus efficace pour le groupe Invisalign® ce qui va dans le même sens que notre série.

L'étude de Djeu (80) de 2005 montre également que l'inclinaison bucco-linguale et les contacts occlusaux sont mieux traités par les appareils fixes et qu'il n'y a pas de différence significative pour l'inclinaison des racines, l'alignement et les crêtes marginales (80). Cette étude en revanche révèle une meilleure efficacité pour le groupe contrôle pour les scores OGS totaux

ainsi que pour les 2 critères cités précédemment, mais aussi pour l'overjet et la relation occlusale, mais il s'agit des 1<sup>res</sup> générations de gouttières Invisalign® sans élément auxiliaire ni attache optimisée associés avec une faible expérience des praticiens sur la Clear Aligner Therapy (36). Donc on peut supposer que les 2 générations de gouttières qui ont suivi ont permis d'améliorer la situation.

Notre étude montre des scores similaires pour le critère : crêtes marginales entre les 2 groupes, ce qui signifie que le nivellement de la courbe de Spee avec le jeu d'intrusion et d'extrusion est aussi efficace avec Invisalign® qu'avec des appareils fixes ce que l'étude de Weihong Li (93) et d'autres (80,92) soulignent également .

De même, l'article de Kuncio s'inscrit dans la lignée de notre série et révèle également qu'Invisalign® est plus efficace dans l'alignement(94). Son étude montre également qu'il n'existe aucune différence statistiquement significative, entre le score OGS total du groupe Invisalign® versus groupe contrôle.

L'alignement est probablement le critère orthodontique le plus visible et donc le plus important aux yeux des patients et par conséquent refait considérer l'utilisation de la Clear Aligner Therapy dans le cadre d'un public plus large et notamment le fait de le proposer aux patients chirurgicaux au même titre que les appareils fixes de façon systématique au début de la prise en charge.

Certes, plusieurs études montrent que l'inclinaison bucco-linguale est traitée plus efficacement par un traitement conventionnel, mais Kassas, en 2016, montre qu'Invisalign® devient très efficace pour normaliser l'inclinaison bucco-linguale avec une amélioration statistique significative du score OGS pour ce critère.

En ce qui concerne les contacts interproximaux, on constate qu'Invisalign® frôle l'excellence avec une absence de différence cliniquement relevable avec le groupe contrôle. Ces résultats

sont attendus puisque Weihong Li (93) notamment, réalise une étude avec Invisalign® sur des cas d'extractions avec fermeture d'espace jusque 6 mm.

Nous attendions également de très bon scores pour les critères : overjet et relation occlusale puisque c'est la chirurgie (déplacement antéro-postérieur) qui règle majoritairement ces problèmes, et ce, de la même façon dans les 2 groupes, d'où ces résultats équivalents. En ce qui concerne l'inclinaison des racines, on constate de meilleurs scores pour Invisalign®, mais ces résultats sont à interpréter avec précautions, car ils peuvent être liés à un biais de sélection même si Invisalign® s'est beaucoup amélioré sur ce critère-là depuis l'utilisation des attaches optimisées ellipsoïdes.

Il n'existe pas dans la littérature d'étude portant à la fois sur Invisalign® et la chirurgie orthognathique étudiant le score standardisé de succès orthodontique de l'ABO ; mais si l'on se base sur les études portant sur Invisalign® versus traitement traditionnel (sans chirurgie) avec évaluation par l'ABO, d'autres études ont à l'inverse montré une supériorité du traitement traditionnel pour une partie des différents critères du score OGS, mais il s'agit pour l'ensemble d'études anciennes ayant utilisé les anciennes générations de gouttières sans les dernières innovations telles que les « optimized attachments » (SmartForce®) et autres auxiliaires ou encore, les dernières technologies de matériaux utilisés tels que le SmartTrack® depuis 2013 au lieu du matériau EX30 (polymère différent) (11) . SmartTrack® est censée appliquer des forces continues et légères avec une plus grande élasticité garantissant une meilleure prédictibilité comparée à l'ancien matériau.

Il s'agit de la 1<sup>re</sup> étude testant Invisalign® avec les dernières générations de gouttières et par conséquent on peut supposer que ces gouttières ont gagné en efficacité en plus du gain d'expérience des praticiens d'où ces scores OGS qui se rapprochent au fil des années de ceux

d'un traitement traditionnel et qui n'ont plus de différence statistiquement significative dans cette étude, 2 décennies après leur conception.

Les scores OGS dans les 2 groupes apparaissent plus faibles que dans le reste de la littérature (sans chirurgie) : ceci est probablement dû aux finitions orthodontiques qui sont facilitées par les ostéotomies qui engendrent, sur le même principe que les corticotomies ou la chirurgie first, des mouvements dentaires accélérés, plus prédictibles et donc plus précis. D'ailleurs, Zingler (101), en 2017, étudie l'aspect biologique des ostéotomies dans le cadre de la chirurgie first et montre que les mouvements dentaires sont accélérés lors de l'orthodontie consécutive, par une sécrétion précoce de cytokines pro-inflammatoires : IL-1 $\beta$  et IL-6, d'enzymes protéolytiques : MMP-2, des facteurs angiogéniques (VEGF) et par la sécrétion tardive de TGF -  $\beta$  (1-2-3) permettant de bloquer l'ostéoclastogenèse et induire la formation osseuse par induction ostéoblastique.

D'ailleurs, ceci permet d'expliquer la durée totale des traitements orthodontiques qui apparaît courte par rapport à d'autres études notamment celle de Kuncio (94) où la durée totale de traitement était de 20,8 mois pour le groupe Invisalign® contre 28 mois pour le groupe contrôle (respectivement 11% et 14% plus court, dans le groupe A et B de notre étude par rapport aux temps de l'étude de Kuncio). On peut donc supposer que la chirurgie, selon les phénomènes biologiques évoqués précédemment, peut ainsi accélérer les finitions orthodontiques. On constate déjà sur son étude (94) qu'Invisalign® est plus rapide, mais d'autres études le montrent également avec des durées se rapprochant des nôtres telles que celle de Buschang en 2014 (48) avec 11,5 mois contre 17 mois en moyenne et celle de Djeu (80) : 16 mois contre 19 mois. Ceci concorde tout à fait avec nos résultats (Table 5).

**Table 5.** Treatment duration comparison between 'Invisalign' study groups and 'braces' study groups in various studies

Study			'Invisalign' groups				'Braces' groups				P value		
Main author, year	Reference #	Treatment	N	Treatment length (months)				N	Treatment length (months)				
				Median	IQR	Mean	SD		Median	IQR		Mean	SD
Djeu <i>et al.</i> , 2005	(27)	OT	48			16.8		48			20.4		0.0138 <sup>a</sup>
Kuncio <i>et al.</i> , 2007	(28)	OT	11			20.9	10.0	11			28.1	9.2	0.0941 <sup>a</sup>
Buschang <i>et al.</i> , 2014	(48)	OT	150	11.5	7.2			150	17.0	5.5			<0.001 <sup>a</sup>
Present study		OT + OS	23	19	3.8	18.6	2.3	23	23	7.8	24.1	4.7	<0.0001 <sup>b</sup>

OT - orthodontic treatment; OS - orthognathic surgery; N - number of patients in study group; IQR - interquartile range; SD - standard deviation; <sup>a</sup> Mann-Whitney U test; <sup>b</sup> t-test with correction for unequal variances.

La seule étude comparative randomisée (93) est une exception et n'a pas été incluse dans le tableau 5 puisque les temps évoqués n'ont pas été argumentés par une analyse statistique et ne sont donc pas interprétables. Cependant, ils avaient retrouvé des temps de traitement plus longs avec « *Invisalign* » 31,5 mois versus 22,0 mois pour le groupe « *braces* ». Ces données peuvent simplement s'expliquer par le fait que cette étude n'étudiait que les cas d'extraction et on sait pertinemment que la CAT a des difficultés à gérer les bascules (parasites) générées lors des mouvements de mésio-distalisation dans les fermetures de zones d'extraction, ce que contrôle mieux les appareils multiattaches (15,53).

Nous avons également voulu enrichir la littérature pour notre objectif secondaire, à savoir, l'impact du DI à T0 sur la durée totale de traitement et le score total OGS.

Le DI a un impact sur la durée totale du traitement dans notre étude au sein de nos 2 groupes ce qui n'est pas étonnant puisque nos scores de DI sont très élevés avec des cas de malocclusions complexes (Figures 98 A et B). D'ailleurs, on retrouve dans la littérature quelques études démontrant qu'il existe un lien entre le DI et la durée totale du traitement dans le cadre des appareils fixes seulement(102,103), mais il s'agit d'études sans chirurgie. Elles montrent que plus le DI est élevé, mais aussi la classe d'Angle et plus la durée totale du traitement augmente ce qui se rapproche de notre étude.

En revanche le DI n'a aucune influence sur le C-R Eval Score.



En effet, le DI est en partie très élevé à cause d'un décalage antéro-postérieur important des bases osseuses à T0. Donc il est logique que lorsque la chirurgie a eu lieu, le score OGS diminue de façon importante et que l'éventail des DI (T0) de l'ensemble des patients, avec des différences plus ou moins importantes, convergent vers la même médiane (entre 20 et 30) d'OGS score, réduisant les différences entre chaque patient pour ce même score OGS au temps Tf (Figures 98 C et D). Donc dans le cadre de la chirurgie orthognathique, la sévérité des malocclusions a un impact moindre sur les scores finaux OGS puisqu'elles sont principalement corrigées par la chirurgie et non par l'orthodontie. Ceci explique l'absence de corrélation dans notre étude. Ces études ont déjà été réalisées, mais sur des séries de patients traités uniquement par appareils fixes. Les études à ce sujet sont assez hétérogènes et se contredisent toutes. En effet, l'importante série de Cansunar (104) a démontré qu'il n'existait aucune corrélation entre le DI et le C-R Eval score. Ceci est corroboré par l'étude de Cameron (105). Au contraire, l'article de Pulfer et Campbell retrouve une faible corrélation entre ces 2 scores (106,107), mais il s'agit d'études plus anciennes.

Nous pouvons donc transposer ces résultats dans le cadre d'Invisalign® et supposer qu'il n'existe potentiellement pas de corrélation ou une très faible corrélation entre le DI et le score MGS par les explications précédentes et les résultats déjà obtenus sur appareils fixes, mais il faudrait réaliser une étude en ce sens avec la CAT également.

83% des patients ont eu un C-R Eval score  $< 30$  ce qui montre tout de même que lorsqu'Invisalign® est bien maîtrisé, des résultats très satisfaisants et similaires aux traitements classiques (91% des patients dans le groupe contrôle) peuvent être obtenus tout en ayant le gain esthétique (41), du confort (39,40,44) et de l'hygiène bucco-dentaire (42) qu'apporte la Clear Aligner Therapy. Attention, un score  $\geq 30$  ne veut pas dire que le traitement est un échec, mais simplement que les critères d'exigences élevés de l'ABO ne sont pas remplis dans le cadre de la certification des orthodontistes américains.

La littérature rapporte le recours aux surcorrections(108–110) pour obtenir les résultats voulus lors de la création du ClinCheck®. Certains mouvements sont plus difficiles que d'autres avec Invisalign® ; il est donc conseillé de surcorriger et de créer des mouvements par excès (dans le cadre des mouvements difficiles) pour atteindre l'objectif voulu et c'est ainsi qu'Invisalign® qui n'est pas encore optimal en matière de prédictibilité, peut égaler un traitement par appareil multiattaches.

La force de notre étude réside dans l'équivalence de nos 2 échantillons puisqu'ils sont similaires sur beaucoup de points : l'âge, la répartition des sexes, la classe d'Angle ainsi que le Discrepancy Index ce qui en renforce la pertinence.

Il s'agit de la 1<sup>ère</sup> étude évaluant Invisalign® dans le cadre de la chirurgie orthognathique préparée avec les dernières générations de gouttières (attaches optimisées et dernière génération de matériau : SmartTrack®) en vue de l'évaluation du succès thérapeutique par un score standardisé et reproductible qu'est celui de l'ABO : score orthodontique le plus utilisé dans la littérature internationale.

Cette étude possède un groupe contrôle ce qui renforce son niveau de preuve.

Les limites de cette étude sont celles inhérentes au fait qu'il s'agit d'une étude rétrospective avec un niveau de preuve moins important qu'une étude prospective.

Il existe un biais de sélection puisque les patients du groupe A et B n'ont pas été randomisés et proviennent du recrutement de 4 orthodontistes différents.

Néanmoins, l'ampleur de ce biais de sélection a été atténuée par l'adhésion des 4 orthodontistes au même protocole orthodontico-chirurgical appliqué aux 23 patients traités par CAT, mais aussi par le fait que la chirurgie orthognathique a été réalisée par le même chirurgien chez les 46 participants.

Aussi, il existe une autre source d'erreur concernant ces praticiens qui ont réalisé les préparations orthodontiques puisqu'il s'agit d'orthodontistes spécialisés dans Invisalign® et par conséquent, ces praticiens ne reflètent pas les praticiens courants qui ont une pratique plus variée en matière de techniques orthodontiques donc on peut supposer que la gestion du traitement Invisalign® est rendue optimale et au maximum de son efficacité, ce qui n'est peut-être pas le cas pour les traitements traditionnels qu'ils nous ont fournis.

Par conséquent, si la même étude était de nouveau réalisée avec le même nombre de patients provenant de 4 orthodontistes différents avec une pratique plus équilibrée en termes de techniques orthodontiques (CAT et OT standard), une différence statistiquement significative aurait peut-être pu apparaître en faveur du groupe « *braces* ».

#### 4.5. Conclusion

Invisalign® devient une solution efficace à considérer au même titre que les autres dans le cadre des patients atteints de dysmorphose dento-squelettique requérant une chirurgie orthognathique. Invisalign® est une préparation très performante dans la majorité des critères orthodontiques à corriger. Cette solution commence à avoir des résultats équivalents à ceux des appareils multiattaches, et ce, en moins de temps et même dans les cas sévères, en permettant d'avoir le bénéfice esthétique, de confort et d'hygiène avec moins de temps passé au fauteuil pour l'orthodontiste.



## 5. Chirurgie orthognathique avec préparation par Invisalign® : étude en cours et perspectives ?

### 5.1. Question de la stabilité à 1 an postopératoire par analyse céphalométrique de Tweed

Finally, the goal of this work was to study whether there was a different impact of Clear Aligner Therapy versus Multi-attachments on the quality and the issue of the orthodontic-surgical project.

Our work was therefore structured initially in 3 parts to answer this objective :

- First, the creation of the detailed orthodontic-surgical protocol in this work.
- Then, the evaluation of the effectiveness of the preparation by Clear Aligner Therapy compared to Multi-attachments in view of an orthognathic surgery that we have exposed in our 2<sup>nd</sup> article.
- And finally, the evaluation of the stability of the dento-skeletal results at 1 year postoperative, currently under investigation and developed below.

We therefore tried to answer the following question : does the orthodontic preparation by Invisalign® in view of an orthognathic surgery give stable results over time on the dental and skeletal plan compared to a preparation by multi-attachments ?

We are therefore interested in the factors influencing the stability that can be taken into account in our study.

Stability depends of many factors governed by 3 fundamental principles according to Proffit (111,112) :

- La stabilité est favorisée si les mouvements sont réalisés de telle sorte que les tissus se détendent.
  - Lors du mouvement d'une base osseuse, les muscles doivent participer à ce mouvement, et non s'y opposer. Cette adaptation neuromusculaire est primordiale pour la stabilité.
  - Cette adaptation neuromusculaire ne peut concerner que la longueur des muscles et non leur changement d'orientation, ce qui dans ce cas, modifierait la qualité de la stabilité.
- Par conséquent, les facteurs de stabilité pouvant intervenir dans le cadre des récurrences sont : un mouvement chirurgical exagéré (113–116), un mouvement dans le sens antihoraire (117–119), une hyperdivergence importante, un mauvais positionnement du condyle (120,121), le temps chirurgical, la courbe d'apprentissage du chirurgien (119) et l'âge du patient (122).

Selon Bailey et al (123):

- Sont considérées comme très stables, les procédures ayant 90% de chance d'avoir moins de 2 mm de récurrence et presque aucune chance d'avoir une récurrence de plus de 4 mm à 1 an postopératoire.
- Sont considérées comme stables, les procédures ayant 80% de chance d'avoir moins de 2 mm de récurrence et 20% de chance d'avoir entre 2 et 4 mm de récurrence.
- Sont considérées comme problématiques, les procédures ayant une haute probabilité de récurrence : entre 40 et 50 % de chance d'avoir une récurrence de 2 à 4 mm et un pourcentage non négligeable d'avoir une récurrence de plus de 4 mm.

Ces conclusions proviennent de la base de données du programme d'Orthopédie Dento-Faciale de l'Université de Caroline du Nord (3000 patients).

Selon lui, l'impaction maxillaire serait le mouvement présentant le moins de récurrences, suivi de près par l'avancée mandibulaire (de moins de 10 mm) chez les patients normo ou

hypodivergent (rotation horaire) et enfin par la génioplastie dans n'importe quelle direction. Ces interventions sont donc considérées comme très stables par Bailey(123).

Il considère comme stable l'avancée maxillaire. Il déclare également qu'une ostéotomie maxillo-mandibulaire, pour être stable, requiert une fixation rigide (123).

En revanche, l'épaction maxillaire, la disjonction intermaxillaire et le recul mandibulaire sont considérés comme problématiques.

Proffit et White en 2015 reprennent également ces notions dans leur article (112).

En prenant en considération cette revue de la littérature, nous avons donc réalisé une analyse céphalométrique de Tweed de nos 46 patients (23 du groupe A « Invisalign » et 23 du groupe B « braces ») afin d'étudier la stabilité en prenant les repères chronologiques suivants :

- avant orthodontie (T0),
- pré opératoire immédiat (T1),
- post opératoire immédiat (T2),
- 1 an postopératoire (soit à 6 mois environ des finitions orthodontiques) (T3).

Les valeurs étudiées étaient les suivantes (selon l'analyse de Tweed) (Figure 99) :

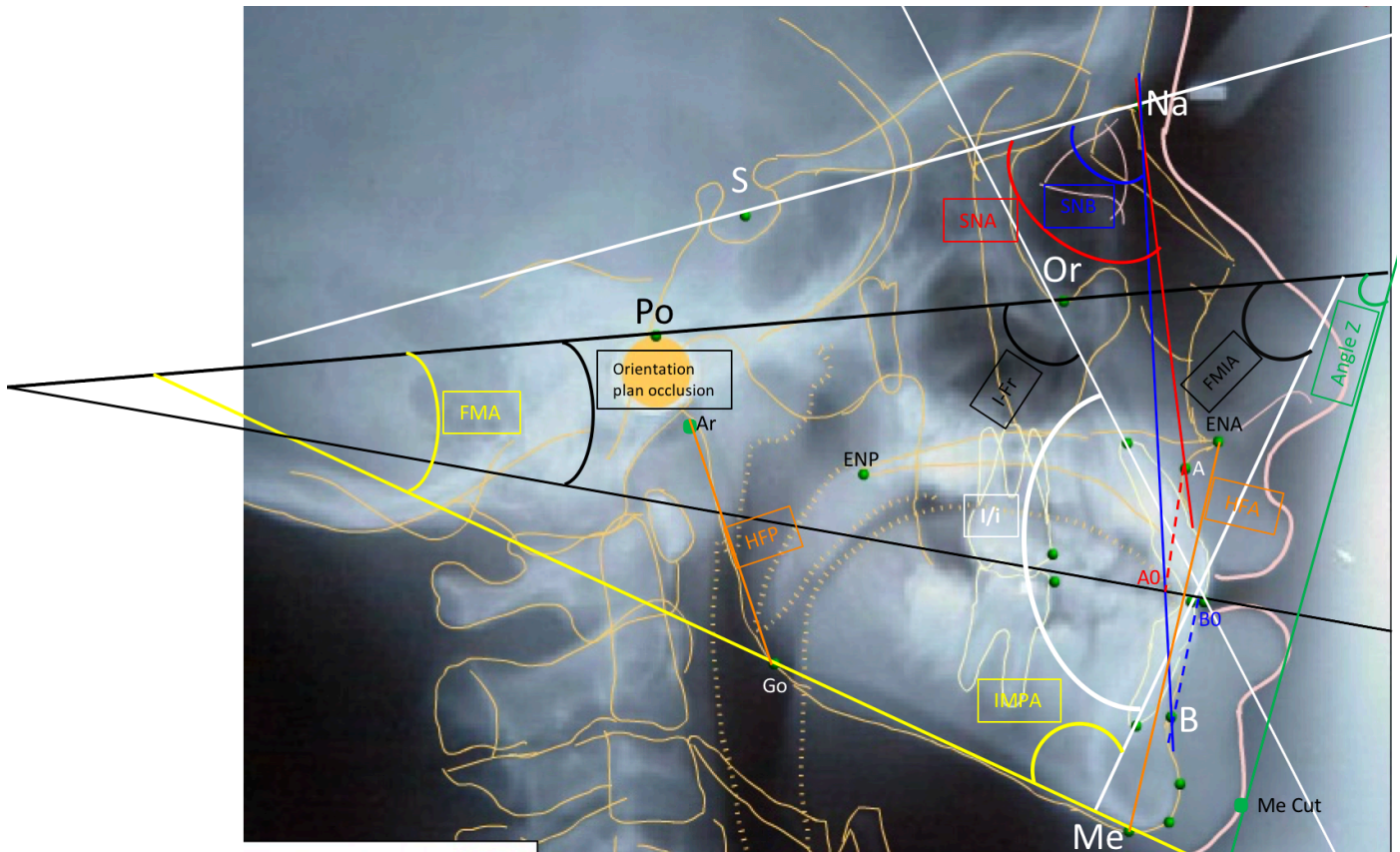
- SNA : angle formé par la droite passant entre le centre de la selle turcique (S) et le Nasion (Na) et la droite passant par le Nasion et le point A (qui est le point le plus postérieur de la concavité joignant l'épine nasale antérieure à l'os alvéolaire des incisives supérieures).
- SNB : angle formé par la droite passant entre le centre de la selle turcique (S) et le Nasion (Na) et la droite passant par le Nasion et le point B (qui est le point le plus postérieur de la concavité joignant l'os alvéolaire des incisives inférieures au menton)
- ANB : angle entre Na-A et Na-B.
- A0-B0 ou analyse de « Wits » : A0 est la projection orthogonale de A sur le plan d'occlusion et B0 est la projection orthogonale de B sur le plan d'occlusion ; A0-B0 est

la distance entre ces 2 points permettant d'évaluer le décalage des bases osseuses donné par ANB.

- IMPA : angle formé par le plan mandibulaire (ligne passant par le Gonion (Go) et le point le plus bas de la symphyse mentonnière (Me)) et l'axe de l'incisive centrale inférieure (la plus vestibulo-versée).
- I-Fr : angle formé entre le plan de Francfort (ligne passant par le Porion (Po) et le rebord orbitaire inférieur (Or)) et l'axe de l'incisive maxillaire (la plus vestibulo-versée).
- L'orientation du plan d'occlusion : angle formé entre le plan d'occlusion (plan passant par les bords des incisives mandibulaires et les cuspides disto-vestibulaires des deuxièmes molaires mandibulaires) et le plan de Francfort.
- FMIA : angle formé par le plan de Francfort et l'axe de l'incisive mandibulaire (la plus vestibulo-versée).
- L'angle interincisif (I/i): angle formé par la ligne passant par l'axe des incisives maxillaire et mandibulaire ( incisives les plus vestibulo-versées).
- HFP : mesure de la hauteur entre l'Articulation temporo-mandibulaire (Ar) et le Gonion (Go).
- HFA : mesure de la hauteur entre la ligne passant entre les points ENA et ENP (respectivement Epine Nasale Antérieure et Postérieure) et la ligne parallèle passant par le point le plus bas de la symphyse mentonnière (Me).
- L'index vertical : HFP/HFA.
- FMA : angle formé entre le plan mandibulaire et le plan de Francfort.
- L'angle Z : angle formé entre le plan de Francfort et la ligne passant par le pogonion cutané (Menton cutané) et la lèvre la plus protrusive.



*Figure 99 : Schématisation des différents critères de l'analyse céphalométrique de Tweed notifiés sur cette téléradiographie de profil*



Nous avons voulu vérifier si ces valeurs au temps T2 et au temps T3 restaient stables afin d'affirmer l'hypothèse suivante : la stabilité dento-squelettique est similaire à 1 an postopératoire entre le groupe A et le groupe B.

Nos résultats préliminaires semblaient aller dans ce sens, mais lorsque nous avons soumis nos résultats au reviewer du journal dans lequel nous voulions publier, une problématique supplémentaire a été soulevée : les décompensations sont-elles identiques entre les 2 groupes ?

Le décalage antéro-postérieur est-il aussi important dans les 2 groupes ?

L'amplitude des mouvements chirurgicaux est-elle similaire entre les 2 groupes ?

S'il existe une différence statistiquement significative au sujet de l'amplitude des décompensations entre les 2 groupes, alors la question de la stabilité dento-squelettique à 1 an

ne peut être élucidée puisque l'amplitude des décompensations doit être sans différence statistiquement significative entre le groupe A et B pour être exploitable.

## 5.2. Qualité de la décompensation avec Invisalign® versus multiattaches ?

Dans les cas chirurgicaux, le travail de l'orthodontiste est à l'inverse de la nature de son travail puisqu'il doit décompenser un patient, c'est à dire aggraver sa dysmorphose dento-squelettique, augmenter ou révéler un décalage antéro-postérieur en remettant les axes incisifs en bonne position (critères évalués par le praticien : angle interincisif (I/i), IMPA et I-Fr). Par conséquent, les patients se retrouvent aggravés sur le plan esthétique et fonctionnel. Ceci est le principal objectif de la préparation orthodontique, gage d'excellence pour le succès thérapeutique : plus la décompensation est importante, meilleure sera la correction de la dysmorphose et donc du décalage antéro-postérieur des bases osseuses. Ainsi l'amplitude des mouvements chirurgicaux prévus sera optimisée et rendue à son maximum.

Nous nous sommes donc concentrés sur 2 valeurs de l'analyse de Tweed en vue de réaliser notre 3<sup>e</sup> étude : la valeur A0-B0 et l'angle interincisif (I /i) permettant de vérifier l'amplitude du décalage antéro-postérieur et la décompensation incisive réalisée.

Nous avons étudié la variation de la valeur A0-B0 entre T0 et T2 et celle de l'angle interincisif entre T0 et T2 puis nous avons comparé ces données entre le groupe A et B.

Nos premières impressions révèlent qu'Invisalign® décompense moins bien que les appareils multiattaches et par conséquent, le décalage antéro-postérieur semblerait diminué dans le groupe Invisalign® par rapport au groupe multiattaches.

Ainsi, les mouvements chirurgicaux sont de plus faibles amplitudes dans le groupe A.

Au total, la stabilité à 1 an n'a pas pu être évaluée compte tenu du fait que l'amplitude des mouvements chirurgicaux entre le groupe A et B était différente. En effet, comme nous l'avons dit précédemment au sujet des facteurs influençant la stabilité : plus les mouvements chirurgicaux sont importants et plus leur tendance à récidiver sera grande ; par conséquent, ceci

peut fausser nos résultats et montrer que la stabilité à 1 an est inférieure dans le groupe où les mouvements sont plus importants alors que les patients ont été mieux décompensés.

Donc, si nous avons tout de même réalisé cette étude, on aurait pu trouver un nombre de récurrences dento-squelettiques plus importantes dans le groupe B (mieux décompensé) par rapport au groupe A puisque les mouvements étaient plus amples et par conséquent pourvoyeur de plus de récurrences.

### 5.3. Conclusion

Ce constat rejoint ce que nous avons évoqué précédemment dans cet ouvrage au sujet de la Clear Aligner Therapy : l'algorithme utilisé dans le set-up virtuel dynamique qui suit une formule mathématique complexe afin d'aligner, niveler et mettre en occlusion, ne comprend pas qu'il faut une décompensation incisive maximale en vue de corriger le surplomb horizontal chirurgicalement. C'est cet algorithme qui peut créer une différence de décompensation par rapport au groupe multiattaches. En effet, l'ADN de ce logiciel est imprégné d'une volonté de compensation que le praticien doit appréhender. Ce logiciel pose un réel problème qui doit être surmonté par l'expérience du praticien dans les cas chirurgicaux. Les praticiens (orthodontiste et chirurgien) doivent prévoir une décompensation de qualité égale en réalisant notamment des surcorrections pour obtenir un décalage antéro-postérieur optimal pour la chirurgie.

Donc en ce qui concerne la stabilité dento-squelettique postopératoire à 1 an, nous souhaiterions donc réaliser une étude comparative (groupe A et B), afin d'évaluer les critères de l'analyse céphalométrique de Tweed, mais cette fois-ci, à décompensation égale entre les 2 groupes (étude de l'amplitude de la valeur A0-B0 et de l'angle interincisif (I/i)) en vue de vérifier si une préparation orthodontique par Invisalign® combinée à la chirurgie orthognathique donne des résultats aussi stables que lors d'une préparation orthodontique par multiattaches.

Cette étude comprendrait un échantillon de patients plus important, avec une analyse statistique intégrant la mesure de la variabilité intra et inter-observateur.



## 6. Conclusion générale

Un réel progrès a été réalisé dans le domaine de la Clear Aligner Therapy notamment par les recherches de la firme Align Technology, inc. avec les aligneurs Invisalign® pour lesquels l'efficacité et la prédictibilité des mouvements via le set-up virtuel dynamique (ClinCheck®) se sont largement améliorées au fil des années redonnant de la crédibilité aux aligneurs au sein de l'orthodontie. La préparation orthodontique est aujourd'hui la condition *sine qua non* pour avoir l'accès à la chirurgie orthognathique dans le cadre des dysmorphoses dento-squelettiques. Mais l'orthodontie par multiattaches était un réel frein pour certains patients qui finalement renonçaient à l'ensemble du traitement : orthodontie et chirurgie.

Aujourd'hui, on peut réellement proposer à nos patients une prise en charge adaptée à leur demande (esthétique et confort) grâce au protocole orthodontico-chirurgical que nous avons détaillé dans notre 1<sup>re</sup> étude et grâce à l'efficacité équivalente de la Clear Aligner Therapy par rapport aux multiattaches dans la préparation orthodontique indispensable en vue d'une chirurgie orthognathique que nous avons étudié dans notre 2<sup>e</sup> article.

La 3<sup>e</sup> étude en cours de réalisation nous a montré également que les résultats étaient aussi stables sur le plan des récurrences squelettiques entre le groupe de patients traités par CAT ou multiattaches, mais ces résultats ont soulevé des problématiques remettant en question ces résultats.

Nous avons remarqué au travers de ces études que les patients traités par Clear Aligner Therapy étaient moins bien décompensés que ceux traités par multiattaches, ceci entraînant un décalage antéro-postérieur moins marqué pour la chirurgie avec des amplitudes de mouvements moins importantes. Il serait donc intéressant de rechercher à l'aide d'une étude comparative, si à décompensation égale, on obtiendrait :

- la même stabilité entre un groupe traité par aligneur versus multiattaches ;
- une augmentation du temps de traitement dans le groupe CAT avec le même score de malocclusion initial (DI).

Ce phénomène (de décompensation sous-estimée) provient du logiciel qui court-circuite une décompensation optimale et diminue le décalage antéro-postérieur et donc l'amplitude des mouvements réalisés lors de la chirurgie orthognathique. C'est pour cela que nous suggérons aux praticiens de bien vérifier les décompensations réalisées sur le set-up virtuel dynamique (ClinCheck®) considéré par certains comme maître du projet thérapeutique, et de réaliser, si besoin, des surcorrections pour obtenir réellement la décompensation nécessaire, en vue d'obtenir l'occlusion parfaite avec une profiloplastie optimale. Il faut bien garder à l'esprit que ces logiciels sont là pour assister le praticien dans sa démarche thérapeutique, mais en aucun cas le substituer. L'intuition clinique de l'orthodontiste et du chirurgien est primordiale pour obtenir le succès thérapeutique et c'est par une concertation pluridisciplinaire que l'on obtient la décompensation nécessaire au succès thérapeutique. Les praticiens (orthodontiste et chirurgien) doivent rester maîtres du projet thérapeutique et de sa direction et doivent fonctionner de concert afin d'atteindre l'objectif thérapeutique idéal.

On peut réaliser ainsi une analogie appliquée au set-up virtuel dynamique sur ce que disait le Dr Steiner au sujet de la céphalométrie : « Cette numérisation est un bon guide, mais un mauvais maître ».

Finalement, la Clear Aligner Therapy a gagné sa place au sein du paysage orthodontique notamment dans les malocclusions complexes tout comme les dysmorphoses dento-squelettiques requérant une chirurgie où elle s'avère efficace, mais celle-ci nécessite la maîtrise et l'expérience des praticiens au travers du set-up virtuel dynamique. Il semblerait que cette solution orthodontique soit devenue une réelle alternative thérapeutique après 2 décennies de recherches scientifiques.

## 7. Bibliographie

1. Proffit WR, Fields HW, Sarver DM, Ackerman JL, éditeurs. Contemporary orthodontics. 5. ed. St. Louis, Mo: Elsevier/Mosby; 2013. 754 p.
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. The European Journal of Orthodontics [Internet]. 1 déc 2012 [cité 2 avr 2018];34(6):724-30. Disponible sur: <https://academic.oup.com/ejo/article-lookup/doi/10.1093/ejo/cjr086>
3. Remensnyder O. A gum-massaging appliance in the treatment of pyorrhea. DentCosmos. 1926;(48):381-4.
4. Kesling HD. The philosophy of the tooth positioning appliance. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1945;31(6):297–304.
5. Nahoum HI. The vacuum-formed dental contour appliance. New York J Dent. 1964;385-90.
6. Ponitz RJ. Invisible retainers. American journal of orthodontics. 1971;59(3):266–272.
7. McNamara JA, Kramer KL, Juenker JP. Invisible retainers. J Clin Orthod. août 1985;19(8):570-8.
8. Sheridan JJ, LeDoux W, McMinn R. Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. The Journal of Clinical Orthodontics. janv 1993;37-45.
9. Sheridan JJ. Air-rotor stripping. J Clin Orthod. janv 1985;19(1):43-59.
10. Keim RG. THE EDITOR'S CORNER - JCO Online - Journal of Clinical Orthodontics Vol XLVI No5 May 2012 p257-258 [Internet]. [cité 17 févr 2018]. Disponible sur: <https://www.jco-online.com/archive/2017/02/69/>
11. Timothy T. Wheeler, Neha, Patel, Susan McGorray. Effect on Aligner material on

- orthodontic tooth movement. *Journal of Aligner Orthodontics*. 2017;1(1):21-7.
12. McKenna S. Invisalign: technology or mythology? *J Mass Dent Soc*. 2001;50(2):8-9.
  13. Lagravère MO, Flores-Mir C. The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners: a systematic review. *J Am Dent Assoc*. déc 2005;136(12):1724-9.
  14. 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. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* [Internet]. janv 2009 [cité 8 févr 2018];135(1):27-35. Disponible sur:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540608008597>
  15. Phan X, Ling PH. Clinical limitations of Invisalign. *Journal of the Canadian Dental Association*. 2007;73(3).
  16. Miller KB, McGorray SP, Womack R, Quintero JC, Perelmuter M, Gibson J, et al. A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* [Internet]. mars 2007 [cité 10 févr 2018];131(3):302.e1-302.e9. Disponible sur:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540606014429>
  17. Andrews LF. The Straight-Wire Appliance. *British Journal of Orthodontics* [Internet]. juill 1979 [cité 31 août 2018];6(3):125-43. Disponible sur:  
<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/bjo.6.3.125>
  18. Craig, Andreiko. The Elan and Orthos system. Interview by Dr.Larry W.White. *J Clin Orthod*. 1994;28(8):459-68.
  19. Tweed, Charles-Henry. *Clinical Orthodontics*. Mosby; 1966.
  20. Steiner CC. [Importance of cephalometry in orthodontic treatment]. *Inf Orthod Kieferorthop*. juin 1969;1(2):3-12 passim.
  21. Makaremi M. Apport des sciences cognitives à l'optimisation de l'interface entre le



praticien et les nouvelles technologies en orthodontie. Revue d'Orthopédie Dento-Faciale [Internet]. juin 2016 [cité 30 août 2018];50(3):335-43. Disponible sur:

<http://odf.edpsciences.org/10.1051/odf/2016017>

22. Align, Inc. ClinCheck Pro with 3D Controls. More precise control to help you achieve your treatment goals. [Internet]. 2014. Disponible sur: [https://s3.amazonaws.com/learn-invisalign/docs/CCPro\\_GSG%20FINAL.pdf](https://s3.amazonaws.com/learn-invisalign/docs/CCPro_GSG%20FINAL.pdf)

23. Align Technology, inc. Fonctionnalités et taquets SmartForce®. 2015.

24. AlKhadra TA. A Simplified Technique For Chairside Bonding Of Lingual Retainer. Jpda. 2011;20(3):180.

25. Boileau M-J. Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte principes et moyens thérapeutiques Tome 1 [Internet]. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2011 [cité 31 août 2018]. Disponible sur: <http://site.ebrary.com/id/10538518>

26. Angle, Edward Hartley. The latest and best in orthodontic mechanism. The Dental cosmos; a monthly record of dental science. févr 1929;71(2):164-74.

27. Schwarz, Artur Martin. Tissue changes incidental to tooth movement. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1932;18(4):331-52.

28. Caldas SGFR, Ribeiro AA, Simplício H, Machado AW. Segmented arch or continuous arch technique? A rational approach. Dental Press Journal of Orthodontics [Internet]. avr 2014 [cité 27 sept 2018];19(2):126-41. Disponible sur:

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2176-94512014000200126&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2176-94512014000200126&lng=en&tlng=en)

29. Schupp W, Haubrich J, Mourlaas J. Les aligneurs en orthodontie: diagnostic, biomécanique, planification et traitements. 2017.

30. 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. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* [Internet]. juin 2014 [cité 8 févr 2018];145(6):728-36. Disponible sur:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540614003096>
31. Vardimon AD, Robbins D, Brosh T. In-vivo von Mises strains during Invisalign treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* [Internet]. oct 2010 [cité 2 sept 2018];138(4):399-409. Disponible sur:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540610004841>
32. Iglesias-Linares A, Sonnenberg B, Solano B, Yañez-Vico R-M, Solano E, Lindauer SJ, et al. Orthodontically induced external apical root resorption in patients treated with fixed appliances vs removable aligners. *The Angle Orthodontist* [Internet]. janv 2017 [cité 2 sept 2018];87(1):3-10. Disponible sur: <http://www.angle.org/doi/10.2319/02016-101.1>
33. Barbagallo LJ, Jones AS, Petocz P, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 10. Comparison of the effects of invisible removable thermoplastic appliances with light and heavy orthodontic forces on premolar cementum. A microcomputed-tomography study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* [Internet]. févr 2008 [cité 2 sept 2018];133(2):218-27. Disponible sur:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540607009031>
34. Gay G, Ravera S, Castroflorio T, Garino F, Rossini G, Parrini S, et al. Root resorption during orthodontic treatment with Invisalign®: a radiometric study. *Progress in Orthodontics* [Internet]. déc 2017 [cité 8 févr 2018];18(1). Disponible sur:  
<http://progressinorthodontics.springeropen.com/articles/10.1186/s40510-017-0166-0>
35. Kravitz ND, Kusnoto B, Agran B, Viana G. Influence of attachments and interproximal reduction on the accuracy of canine rotation with Invisalign: a prospective clinical study. *The Angle Orthodontist*. 2008;78(4):682–687.
36. Hennessy J, Al-Awadhi EA. Clear aligners generations and orthodontic tooth

movement. *Journal of Orthodontics* [Internet]. 2 janv 2016 [cité 10 févr 2018];43(1):68-76.

Disponible sur: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/1465313315Y.0000000004>

37. Chazalon J-F. Invisalign® — 15 years later, has it become a real alternative to fixed appliances? *Journal of Dentofacial Anomalies and Orthodontics* [Internet]. 2016 [cité 19 sept 2018];19(4):407. Disponible sur: <https://www.jdao-journal.org/10.1051/odfen/2016027>

38. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: *A systematic review*. *The Angle Orthodontist* [Internet]. sept 2015 [cité 21 août 2018];85(5):881-9. Disponible sur: <http://www.angle.org/doi/10.2319/061614-436.1>

39. Nedwed V, Miethke R-R. Motivation, Acceptance and Problems of Invisalign® Patients. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopedie* [Internet]. mars 2005 [cité 10 févr 2018];66(2):162-73. Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/s00056-005-0429-0>

40. White DW, Julien KC, Jacob H, Campbell PM, Buschang PH. Discomfort associated with Invisalign and traditional brackets: A randomized, prospective trial. *The Angle Orthodontist* [Internet]. nov 2017 [cité 8 févr 2018];87(6):801-8. Disponible sur: <http://www.angle.org/doi/10.2319/091416-687.1>

41. Jeremiah HG, Bister D, Newton JT. Social perceptions of adults wearing orthodontic appliances: a cross-sectional study. *The European Journal of Orthodontics* [Internet]. 1 oct 2011 [cité 2 avr 2018];33(5):476-82. Disponible sur: <https://academic.oup.com/ejo/article-lookup/doi/10.1093/ejo/cjq069>

42. Lu H, Tang H, Zhou T, Kang N. Assessment of the periodontal health status in patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances and Invisalign system: A meta-analysis. *Medicine* [Internet]. mars 2018 [cité 2 avr 2018];97(13):e0248. Disponible sur: <http://Insights.ovid.com/crossref?an=00005792-201803300-00053>

43. Karkhanechi M, Chow D, Sipkin J, Sherman D, Boylan RJ, Norman RG, et al. Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy. *The Angle Orthodontist* [Internet]. janv 2013 [cité 7 sept 2018];83(1):146-51. Disponible sur:  
<http://www.angle.org/doi/10.2319/031212-217.1>
44. Azaripour A, Weusmann J, Mahmoodi B, Peppas D, Gerhold-Ay A, Van Noorden CJF, et al. Braces versus Invisalign®: gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study. *BMC Oral Health* [Internet]. déc 2015 [cité 8 févr 2018];15(1). Disponible sur:  
<http://bmcoralhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12903-015-0060-4>
45. Zheng M, Liu R, Ni Z, Yu Z. Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research* [Internet]. août 2017 [cité 10 févr 2018];20(3):127-33. Disponible sur:  
<http://doi.wiley.com/10.1111/ocr.12177>
46. Align, Inc. Align Technology Introduces One-Week Aligner Wear for Invisalign® Teen and Full Products [Internet]. 2016. Disponible sur:  
[http://files.shareholder.com/downloads/ALGN/0x0x911245/97B77ABF-2A35-4552-8B18-E48398710C6C/ALGN\\_News\\_2016\\_10\\_11\\_Financial\\_Releases.pdf](http://files.shareholder.com/downloads/ALGN/0x0x911245/97B77ABF-2A35-4552-8B18-E48398710C6C/ALGN_News_2016_10_11_Financial_Releases.pdf)
47. Werner Schupp, Haubrich J, Castroflorio T. Clinical efficacy of Invisalign® treatment with weekly aligner changes: Two case reports [Internet]. Align, Inc; 2017. Disponible sur:  
<http://schupp-ortho.de/wp-content/uploads/2017/08/Clinical-Efficacy-of-Invisalign.pdf>
48. Buschang PH, Shaw SG, Ross M, Crosby D, Campbell PM. Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces. *The Angle Orthodontist* [Internet]. mai 2014 [cité 14 févr 2018];84(3):391-6. Disponible sur:  
<http://www.angle.org/doi/10.2319/062113-466>

49. Gu J, Tang JS, Skulski B, Fields HW, Beck FM, Firestone AR, et al. Evaluation of Invisalign treatment effectiveness and efficiency compared with conventional fixed appliances using the Peer Assessment Rating index. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* [Internet]. févr 2017 [cité 8 févr 2018];151(2):259-66. Disponible sur: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540616306758>
50. Allareddy V, Nalliah R, Lee MK, Rampa S, Allareddy V. Adverse clinical events reported during Invisalign treatment: Analysis of the MAUDE database. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* [Internet]. nov 2017 [cité 8 févr 2018];152(5):706-10. Disponible sur: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540617306030>
51. Best AD, Shroff B, Carrico CK, Lindauer SJ. Treatment management between orthodontists and general practitioners performing clear aligner therapy. *The Angle Orthodontist* [Internet]. mai 2017 [cité 11 sept 2018];87(3):432-9. Disponible sur: <http://www.angle.org/doi/10.2319/062616-500.1>
52. Lindauer SJ, Shoff RC. Comparison of Essix and Hawley retainers. *J Clin Orthod*. févr 1998;32(2):95-7.
53. Bollen A-M, Huang G, King G, Hujoel P, Ma T. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 1: Ability to complete treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. nov 2003;124(5):496-501.
54. 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. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2003;124(5):502–508.
55. Kamatovic M. A retrospective evaluation of the effectiveness of the Invisalign appliance using the PAR and irregularity indices. [Ottawa]: Library and Archives Canada =

Bibliothèque et Archives Canada; 2005.

56. The American Board of Orthodontics (2012) Grading System for Dental Casts and Panoramic Radiographs [Internet]. 2012. Disponible sur:

<https://www.americanboardortho.com/>

57. Casco JS, Vaden JL, Kokich VG, Damone J, James RD, Cangialosi TJ, et al.

Objective grading system for dental casts and panoramic radiographs. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1998;114(5):589–599.

58. Moreira DD, Gribel BF, Torres GDR, Vasconcelos K de F, Freitas DQ de, Ambrosano GMB. Reliability of measurements on virtual models obtained from scanning of impressions and conventional plaster models. *Brazilian Journal of Oral Sciences* [Internet]. déc 2014 [cité 15 mai 2018];13(4):297-302. Disponible sur:

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1677-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-32252014000400297&lng=en&nrm=iso&tlng=en)

[32252014000400297&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-32252014000400297&lng=en&nrm=iso&tlng=en)

59. Béziat, Jean-Luc. Chirurgie orthognathique piézoélectrique: diagnostic, indications, préparation orthodontique, réalisation des plans d'occlusion, techniques chirurgicales piézoélectriques. Les Ulis (Essonne): EDP sciences; 2013.

60. Guyot L, Seguin P, Benateau H. Techniques en chirurgie maxillo-faciale et plastique de la face. Paris: Springer Paris; 2010.

61. Richter M, Goudot P, Laurent F, Jaquinet A, Bidaut L. Chirurgie correctrice des malformations ou dysmorphies maxillomandibulaires : bases chirurgicales. In: *Encyclopédie Médico-Chirurgicale*. Elsevier. Paris; 1998. p. 1-24. (Stomatologie).

62. Obwegeser H. The indications for surgical correction of mandibular deformity by the sagittal splitting technique. *Br J Oral Surg*. avr 1964;1:157-71.

63. Zambrano Gómez JH. [Correction of mandibular prognathism with the modified Obwegeser-Dal Pont technique]. *Acta Odontol Venez*. déc 1975;13(1-3):3-77.

64. Raphaël B, Morand B, Dechamboux J, Frénea S, Richard M, Gariod G, et al. Ostéotomies maxillo-mandibulaires: techniques. In: Encyclopédie Médico-Chirurgicale. Elsevier. Paris; 2003. p. 1-14. (Techniques chirurgicales-Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique).
65. Ayoub A, Khambay B, Benington P, Green L, Moos K, Walker F, éditeurs. Handbook of Orthognathic Treatment: A team approach [Internet]. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2013 [cité 28 sept 2018]. Disponible sur: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118751695>
66. Le Fort R, Tessier DP. Experimental study of fractures of the upper jaw. Revue Chir de Paris [Internet]. 1901 [cité 25 sept 2018];23:208-27, 360-79, 479-507. Disponible sur: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00006534-197211000-00012>
67. Defrennes G, Ferri J, Garreau E, Deffrennes D. Ostéotomie maxillo-mandibulaires: techniques chirurgicales et indications. In: Encyclopédie Médico-Chirurgicale. Elsevier. Paris; 2016. (Techniques chirurgicales-Tête et cou; vol. 11).
68. Boyd RL. Surgical-Orthodontic Treatment of Two Skeletal Class III Patients with Invisalign and Fixed Appliances. Journal of Clinical Orthodontics. 2005;XXXIX(4):245-58.
69. Pagani R, Signorino F, Poli PP, Manzini P, Panisi I. The Use of Invisalign® System in the Management of the Orthodontic Treatment before and after Class III Surgical Approach. Case Reports in Dentistry [Internet]. 2016 [cité 8 févr 2018];2016:1-10. Disponible sur: <http://www.hindawi.com/journals/crid/2016/9231219/>
70. Womack WR, Day RH. Surgical-orthodontic treatment using the Invisalign system. J Clin Orthod. avr 2008;42(4):237-45.
71. 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. juin 2010;44(6):377-84.
72. Taub DI, Palermo V. Orthognathic surgery for the Invisalign patient. Seminars in

- Orthodontics [Internet]. mars 2017 [cité 2 avr 2018];23(1):99-102. Disponible sur:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1073874616300640>
73. Kankam HKN, Gupta H, Sawh-Martinez R, Steinbacher DM. Segmental Multiple-Jaw Surgery without Orthodontia: Clear Aligners Alone. *Plastic and Reconstructive Surgery* [Internet]. juill 2018 [cité 19 août 2018];142(1):181-4. Disponible sur:  
<http://Insights.ovid.com/crossref?an=00006534-201807000-00031>
74. Zunzarren, Rodolphe. *Guide Clinique D'odontologie*. Educa Books; 2014.
75. Wong B. Invisalign A to Z. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* [Internet]. mai 2002 [cité 8 févr 2018];121(5):540-1. Disponible sur:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540602539561>
76. Shofu Dental Corporation, San Marcos, CA. Guidelines for placing attachments. [Internet]. Disponible sur: <http://www.shofu.com/en/wp-content/uploads/sites/2/2014/05/Placing-Removing-Attachments-Placemat.pdf>.
77. Chudasama D, Sheridan JJ. Guidelines for contemporary air-rotor stripping. *J Clin Orthod*. juin 2007;41(6):315-20.
78. Fry R. Weekly aligner changes to improve Invisalign treatment efficiency. *J Clin Orthod*. déc 2017;51(12):786-91.
79. Pascal E, Majoufre C, Bondaz M, Courtemanche A, Berger M, Bouletreau P. Current status of surgical planning and transfer methods in orthognathic surgery. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. juin 2018 [cité 15 mai 2018];119(3):245-8. Disponible sur:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2468785518300351>
80. Djeu G, Shelton C, Maganzini A. Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* [Internet]. sept 2005



[cité 14 févr 2018];128(3):292-8. Disponible sur:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540605006268>

81. McGinn JD, Fedok FG. Techniques of maxillary–mandibular fixation. *Operative Techniques in Otolaryngology-Head and Neck Surgery* [Internet]. juin 2008 [cité 8 mai 2018];19(2):117-22. Disponible sur:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1043181008000195>

82. Hashemi HM, Parhiz A. Complications Using Intermaxillary Fixation Screws. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. mai 2011 [cité 8 févr 2018];69(5):1411-4.

Disponible sur: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278239110008268>

83. Hartwig S, Boettner A, Doll C, Voss JO, Hertel M, Preissner S, et al. Drill-related root injury caused by intraoperative intermaxillary fixation: an analysis of 1067 screw applications. *Dent Traumatol.* févr 2017;33(1):45-50.

84. Graillon N, Gallucci A, Foletti JM, Guyot L, Chossegras C. Complications dues aux vis de blocage maxillo-mandibulaires. *Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-faciale et de Chirurgie Orale* [Internet]. déc 2014 [cité 8 mai 2018];115(6):329-30. Disponible sur:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213653314001219>

85. Coburn DG, Kennedy DWG, Hodder SC. Complications with intermaxillary fixation screws in the management of fractured mandibles. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. juin 2002 [cité 8 févr 2018];40(3):241-3. Disponible sur:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0266435601907715>

86. Rai A, Datarkar A, Borle RM. Are Maxillomandibular Fixation Screws a Better Option Than Erich Arch Bars in Achieving Maxillomandibular Fixation? A Randomized Clinical Study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. déc 2011 [cité 8 mai 2018];69(12):3015-8. Disponible sur:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278239110017672>

87. Khosravi R, Cohanim B, Hujoel P, Daher S, Neal M, Liu W, et al. Management of overbite with the Invisalign appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* [Internet]. avr 2017 [cité 8 févr 2018];151(4):691-699.e2. Disponible sur: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540616308861>
88. Giancotti A, Mampieri G, Greco M. Correction of deep bite in adults using the Invisalign system. *Journal of Clinical Orthodontics*. 2008;42(12):719–726.
89. Giancotti A, Garino F, Mampieri G. Use of clear aligners in open bite cases: an unexpected treatment option. *Journal of Orthodontics* [Internet]. 3 avr 2017 [cité 8 févr 2018];44(2):114-25. Disponible sur: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14653125.2017.1311445>
90. Joffe L. Current Products and Practice Invisalign®: early experiences. *J orthod*. 2003;30(4):348–52.
91. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Australian Dental Journal* [Internet]. mars 2017 [cité 8 févr 2018];62:58-62. Disponible sur: <http://doi.wiley.com/10.1111/adj.12480>
92. Kassas W, Al-Jewair T, Preston CB, Tabbaa S. Assessment of Invisalign treatment outcomes using the ABO Model Grading System. *Journal of the World Federation of Orthodontists* [Internet]. juin 2013 [cité 18 août 2018];2(2):e61-4. Disponible sur: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212443813000234>
93. 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* [Internet]. 15 mai 2015;8(5):8276-82. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4509355/>
94. 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. The Angle Orthodontist [Internet]. sept 2007 [cité 14 févr 2018];77(5):864-9. Disponible sur: <http://www.angle.org/doi/abs/10.2319/100106-398.1>

95. Jardé O. LOI n° 2012-300 du 5 mars 2012 relative aux recherches impliquant la personne humaine. Journal Officiel de la République Française [Internet]. 3 mai 2012; Disponible sur: [https://www.legifrance.gouv.fr/jo\\_pdf.do?id=JORFTEXT000025441587](https://www.legifrance.gouv.fr/jo_pdf.do?id=JORFTEXT000025441587)

96. Daouri, A, Asselborn, M, Majoufre, C, Nimeskern, N, Gleizal, A. Orthognathic surgery and Invisalign®: A proposed complete orthodontics and maxillofacial surgery protocol, practical tips, and literature review. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, in press. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2018;

97. Lieber WS, Carlson SK, Baumrind S, Poulton DR. Clinical use of the ABO-Scoring Index: reliability and subtraction frequency. Angle Orthod. oct 2003;73(5):556-64.

98. Cangialosi TJ, Riolo ML, Owens SE, Dykhouse VJ, Moffitt AH, Grubb JE, et al. The ABO discrepancy index: a measure of case complexity. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics [Internet]. mars 2004 [cité 21 juill 2018];125(3):270-8. Disponible sur: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540604000393>

99. Ferguson D, Nazarov A, Makki L, Wilcko M, Wilcko W. Posttreatment and retention outcomes with and without periodontally accelerated osteogenic orthodontics assessed using ABO objective grading system. APOS Trends in Orthodontics [Internet]. 2016 [cité 23 sept 2018];6(4):194. Disponible sur: <http://www.apospublications.com/text.asp?2016/6/4/194/186434>

100. American Board of Othodontics. The ABO Calibration Kit, updated April 24, 2013 [Internet]. Disponible sur: <http://www.bbo.org.br/files/bibliografia/artigos/90-CALIBRATION-KIT.pdf>, accessed 05-Sep-2018.

101. Zingler S, Hakim E, Finke D, Brunner M, Saure D, Hoffmann J, et al. Surgery-first approach in orthognathic surgery: Psychological and biological aspects – A prospective cohort study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* [Internet]. août 2017 [cité 8 févr 2018];45(8):1293-301. Disponible sur:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S101051821730197X>
102. Parrish LD, Roberts WE, Maupome G, Stewart KT, Bandy RW, Kula KS. The relationship between the ABO discrepancy index and treatment duration in a graduate orthodontic clinic. *The Angle Orthodontist* [Internet]. mars 2011 [cité 21 août 2018];81(2):192-7. Disponible sur: <http://www.angle.org/doi/10.2319/062210-341.1>
103. Dareen Aljehani, Hosam Ali Baeshen. Effectiveness of the American Board of Orthodontics Discrepancy Index in predicting Treatment Time. *the Journal of Contemporary Dental Practice*. juin 2018;
104. Cansunar HA, Uysal T. Relationship between pretreatment case complexity and orthodontic clinical outcomes determined by the American Board of Orthodontics criteria. *The Angle Orthodontist* [Internet]. nov 2014 [cité 22 août 2018];84(6):974-9. Disponible sur: <http://www.angle.org/doi/10.2319/010114-001.1>
105. Cameron, D. The relationship between American Board of Orthodontics pretreatment dental cast Discrepancy Index scores and posttreatment dental cast Objective Grading System scores. Faculty of the Graduate School of Saint Louis University;
106. Pulfer RM, Drake CT, Maupome G, Eckert GJ, Roberts WE. The Association of Malocclusion Complexity and Orthodontic Treatment Outcomes. *The Angle Orthodontist* [Internet]. mai 2009 [cité 22 août 2018];79(3):468-72. Disponible sur:  
<http://www.angle.org/doi/10.2319/042308-227.1>
107. Campbell CL, Roberts WE, Hartsfield JK, Qi R. Treatment outcomes in a graduate orthodontic clinic for cases defined by the American Board of Orthodontics malocclusion

- categories. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics [Internet]. déc 2007 [cité 25 mars 2018];132(6):822-9. Disponible sur:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540607007007>
108. Grünheid T, Loh C, Larson BE. How accurate is Invisalign in nonextraction cases? *Are predicted tooth positions achieved?* The Angle Orthodontist [Internet]. nov 2017 [cité 8 févr 2018];87(6):809-15. Disponible sur: <http://www.angle.org/doi/10.2319/022717-147.1>
109. Houle J-P, Piedade L, Todescan R, Pinheiro FHSL. The predictability of transverse changes with Invisalign. The Angle Orthodontist [Internet]. janv 2017 [cité 8 févr 2018];87(1):19-24. Disponible sur: <http://www.angle.org/doi/10.2319/122115-875.1>
110. 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(1):68.
111. Proffit WR, White RP, Sarver DM, éditeurs. Contemporary treatment of dentofacial deformity. St. Louis: Mosby; 2003. 751 p.
112. Proffit WR, White, Jr RP. Combined surgical-orthodontic treatment: How did it evolve and what are the best practices now? American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics [Internet]. mai 2015 [cité 29 sept 2018];147(5):S205-15. Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540615001286>
113. Ive J, McNeill RW, West RA. Mandibular advancement: skeletal and dental changes during fixation. J Oral Surg. nov 1977;35(11):881-6.
114. Lake SL, McNeill RW, Little RM, West RA. Surgical mandibular advancement: a cephalometric analysis of treatment response. Am J Orthod. oct 1981;80(4):376-94.
115. Van Sickels JE, Flanary CM. Stability associated with mandibular advancement treated by rigid osseous fixation. J Oral Maxillofac Surg. mai 1985;43(5):338-41.
116. Will LA, West RA. Factors influencing the stability of the sagittal split osteotomy for

- mandibular advancement. *J Oral Maxillofac Surg.* août 1989;47(8):813-8.
117. Poulton DR, Ware WH. Surgical-orthodontic treatment of severe mandibular retrusion. *Am J Orthod.* mars 1971;59(3):244-65.
118. Poulton DR, Ware WH. Surgical-orthodontic treatment of severe mandibular retrusion. II. *Am J Orthod.* mars 1973;63(3):237-55.
119. Schendel SA, Epker BN. Results after mandibular advancement surgery: an analysis of 87 cases. *J Oral Surg.* avr 1980;38(4):265-82.
120. Arnett GW. A redefinition of bilateral sagittal osteotomy (BSO) advancement relapse. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* nov 1993;104(5):506-15.
121. Moore KE, Gooris PJ, Stoelinga PJ. The contributing role of condylar resorption to skeletal relapse following mandibular advancement surgery: report of five cases. *J Oral Maxillofac Surg.* mai 1991;49(5):448-60.
122. Caskey RT, Turpin DL, Bloomquist DS. Stability of mandibular lengthening using bicortical screw fixation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* oct 1989;96(4):320-6.
123. Bailey LJ, Cevidanes LH, Proffit WR. Stability and predictability of orthognathic surgery. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2004;126(3):273–277.

## 8. Annexes :

### 8.1. Article n°1 : *soumis à l'« American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics »*

Orthognathic surgery and Invisalign®: A proposed complete orthodontics and maxillofacial surgery protocol,  
practical tips, and literature review

Authors: Daouri A, Asselborn M, Majoufre C, Nimeskern N, Gleizal A

Amine DAOURI, MD – resident of oral and maxillofacial surgery<sup>a,b</sup>

Marc ASSELBORN, MD – orthodontist<sup>c</sup>

Claire MAJOUFRE, MD, PhD – oral and maxillofacial surgeon<sup>a</sup>, professor of oral and maxillofacial surgery<sup>b</sup>

Nicolas Paul NIMESKERN, MD – maxillofacial surgeon<sup>d</sup>

Arnaud GLEIZAL, MD, PhD – oral and maxillofacial surgeon<sup>e</sup>, professor of oral and maxillofacial surgery<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Pellegrin Hospital / Bordeaux Hospital University Center, rue de la Pelouse de Douet, 33000 Bordeaux, France

<sup>b</sup> Bordeaux Segalen University, 146 Rue Léo Saignat, 33000 Bordeaux, France

<sup>c</sup> Private practice, 23 Rue Clément Michut, 69100 Villeurbanne, France

<sup>d</sup> Private practice, 1 Rue Saint-Sauveur, 68100 Mulhouse, France

<sup>e</sup> Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Hôpital de la Croix-Rousse / Hospices Civils de Lyon, 103 Grande rue de la Croix Rousse, 69317 cedex 04 Lyon, France

<sup>f</sup> Claude Bernard University, 43 Boulevard du 11 Novembre 1918, 69100 Villeurbanne, France

#### Corresponding author:

Amine DAOURI

e-mail: [daouri.amine@gmail.com](mailto:daouri.amine@gmail.com)

address: Secrétariat du service de Chirurgie Maxillo-Faciale, Bâtiment C0, Centre François-Xavier Michelet, Hôpital Pellegrin, Centre Hospitalier Universitaire de Bordeaux, rue de la Pelouse de Douet, 33000, Bordeaux

phones: (+)33 6 68 30 96 95; (+)33 5 56 79 55 33

fax: (+)33 5 56 79 60 37

## ABSTRACT

**Introduction:** Since the advent of clear aligner therapy (CAT)] introduced by Invisalign® in 1998, only very few case reports have described the combined treatment of orthodontic CAT with orthognathic surgery. The aim of the present study was to establish and propose a standardized protocol for this combined treatment.

**Methods:** We selected four orthodontists specialized in cases of orthodontic preparation with Invisalign® of maxillomandibular discrepancy cases submitted to orthognathic surgery. Together with them we established a detailed combined orthodontic-maxillofacial surgical treatment protocol.

**Results:** The resulted protocol comprises 17 steps from the initial orthodontics and maxillofacial surgery examinations to the onset of the retainer phase, encompassing an average treatment duration of 18 months. We deem these steps necessary for a successful combined CAT-orthognathic surgical management of patients with dento-skeletal discrepancy.

**Conclusion:** Since the practice of Invisalign®, including in the combined orthodontic-surgical treatment, is on the verge of growing exponentially in the near future, we propose this protocol to practitioners in both fields, maxillofacial surgeons and orthodontists, neophytes and experts alike, in attempt to strive for standardized practices and so that specialists in both fields adopt a similar and collaborative approach. We encourage the readership of the Journal to promote further research and bring changes to this protocol.



## Introduction

Based on the concept of moving teeth as a series of planned stages utilizing set-up models and vacuum-formed clear appliances or positioners, which have evolved from the early works of Kesling [1] and Nahoum [2], the advent of clear aligner therapy (CAT) has revolutionized the world of orthodontics [3]. Since the creation of Invisalign<sup>®</sup> by Align Technology, Inc. in 1998, many studies have been published on its efficacy and limitations, yet only a few have addressed the topic of Invisalign<sup>®</sup> in orthognathic surgery.

Maxillofacial surgeons receive an increasing number of patients that have been orthodontically prepared by CAT. Such patients, who suffer from severe skeletal discrepancies requiring surgery, are more demanding than those who had been prepared with fixed orthodontic appliances. Their requirements mainly concern esthetics, but also comfort (e.g., less pain and mucosal trauma, which is associated with traditional orthodontic treatment), oral hygiene (state of the periodontium), and shorter treatment duration.

No standardized strategy to optimally manage patients with surgery-requiring maxillomandibular discrepancy prepared by CAT has hitherto been proposed. Therefore, it would be judicious to put forth a common orthodontic-orthognathic surgery protocol aiming to a common approach by specialists in both domains, so that patients receive equivalent information during the respective consultations. Such a protocol would equally help surgeons and orthodontists improve their daily practice with the subtleties of Invisalign<sup>®</sup> *per se*, as well as orthognathic surgery combined with Invisalign<sup>®</sup>. Therefore, the aim of this paper is to propose a standardized combined orthodontics-surgery protocol based on our experience with several orthodontists, supported by a review of the literature on the topic.

## Method

We selected four orthodontists specialized in CAT and, more specifically, in the combined treatment by Invisalign<sup>®</sup> and orthognathic surgery. Each *practitioner* was asked to define a protocol of their orthodontic practice using Invisalign<sup>®</sup>, with emphasis on their detailed pre-operative preparation, while equally minding patient-required notions of esthetics. The advantages and drawbacks of each of the four protocols were then compared to the general body of knowledge garnered from the published literature (articles and textbooks), notwithstanding the scarcity of the latter.

We then carried out a synthesis of all this know-how into a standardized orthodontic-surgical protocol. Finally, we addressed the thus elaborated protocol to the four orthodontists for validation and further

improvements. Once all four orthodontists were in agreement, we decided to hereby propose it as an optional *modus operandi* to practitioners in the two domains - surgeons and orthodontists, so that the readership of the Journal may promote further research and bring changes to it.

## **Results**

The stages of the final protocol are hereby described in a chronological fashion (Fig.1), with the proviso that if the patient first consulted a surgeon, he/she is automatically referred to orthodontic consultation; conversely, the orthodontist will refer the patient to a maxillofacial surgeon.

### *1. First orthodontics consultation*

The visit begins with clinical examination. The antero-posterior plane, transversal plane, and vertical planes are assessed. Dental analysis is carried out: Angle's malocclusion classification, tooth-jaw discrepancy, tooth-size discrepancies, overbite, open bite, malposition of teeth, dental formula, oral hygiene. The orthodontist takes a targeted history of smoking, lingual dysfunction, and comorbidities. A diagnosis is then made and the patient is given explanations as to what needs to be corrected.

All interviewed orthodontists agreed that whenever surgery is indicated, the patient needs to be informed of this prospect as early as the first consultation. The orthodontist apprises the patient about available orthodontic treatment options (including Invisalign®), average treatment duration (18 months), advantages (esthetics, oral hygiene, comfort), and disadvantages [i.e., many (but not all) movements possible, still expensive, patient compliance with wearing the aligner 22h / 24h required]. The orthodontist addresses a letter containing these to the maxillofacial surgeon. All orthodontists agreed to refer the patient to maxillofacial surgery consultation after the first orthodontics visit.

### *2. First maxillofacial surgery consultation*

The surgeon takes photographs and performs a short physical examination focusing on the following elements:

- Esthetic analysis:
  - Face: symmetry, height of the three facial thirds, contraction of the labiomental muscles and consequent lip competency, gummy smile, offset of anatomical structure of the face: nose, chin, interincisal points;

- Profile: nasofrontal angle, nasolabial angle, labiomental angle, congruence of lips, cervicomenta angle, pro-/normo-/retrognathism.
- Functional analysis: temporomandibular joint dysfunction: pain and sounds, sleep obstructive apnea and snoring, lingual posture disorders, and masticatory disorders.
- Dental analysis: Angle's classification of malocclusion (I, II, III), periodontal health.
- Skeletal analysis: Ballard's classification.

The surgeon may set up an early surgical treatment plan. This includes an assessment of the transverse dimension (width of the maxilla) and decides whether a midpalatal split is necessary in conjunction with Le Fort I osteotomy to expand the maxilla if needed. This decision has direct impact on the forthcoming post-operative aligners devised by the orthodontist, as detailed below.

Once the patient agreed and selected the preferred type of orthodontic treatment, the second orthodontics visit ensues.

### 3. *Second orthodontics consultation ("Invisalign® records visit")*

This visit comprises several steps:

- Acceptance of the Invisalign® quotation whereby the patient signs it.
- The initial clinical and imaging assessment is performed and photographs, orthopantomogram, anteroposterior and profile planar radiographs are uploaded to the Align Technology, Inc. website.
- A Polyvinyl Siloxane (PVS) dental impressions are taken and addressed to Align Technology, Inc. Those impressions are placed in a scanner to obtain a 3D rendering of the impression : the digitized dental arches [4].
- As an alternative to the physical dental impressions, an intra-oral scan is performed using an iTero® scanner, which results in a real-time 3D visualization of the digital scan. The iTero® scanners operate on a single platform working with the iTero Orthodontic Digital Ecosystem®, a software that enables 3D digitized orthodontic workflows whereby the iTero scans are sent directly to Align Technology, Inc.
- A prescription form is filled out. The prescribed aligners are designed in the next step (ClinCheck®) and are subsequently applied in the peri-operative stages detailed below. Suffice to mention at this point that this protocol advocates prescribing 3 neutral aligners with cut-outs for buttons intended for all teeth except the lateral incisors and second molars, while the cut-out for the central incisors' buttons need to be done

manually by the orthodontist. The neutral aligners serve to stabilize parasitic dental movements before and after surgery.

#### 4. *ClinCheck<sup>®</sup> creation*

- *ClinCheck<sup>®</sup>* is Invisalign's<sup>®</sup> own 3D animated treatment plan that is created following the previous visit. Based on the dental model (3D digitized or plaster models), the patient's *ClinCheck<sup>®</sup>* can now be created by the virtual orthodontic technician (VOT) of Align Technology, Inc. First, a bite is established with the 3D virtual models. Then, the VOT uses the software's "cut" function and separate the teeth on the virtual models, allowing them to be moved individually [4]. A virtual gingiva is placed manually along the gingival line of the clinical crown to serve as the margin for the aligners' manufacturing. The orthodontist's prescription is followed in positioning the teeth and bite to proper alignment in a virtual manner by means of Align Technology's<sup>®</sup> *Treat<sup>®</sup>* software according to a predefined algorithm to align and match the arches between them [4]. Once the final setup has been done, tooth movements are staged in the *ClinCheck<sup>®</sup>* lest occlusal and interproximal interferences occur [4].
- Several days later the VOT sends the *ClinCheck<sup>®</sup>* to the referring orthodontist who can check the proposed treatment on Invisalign's<sup>®</sup> website. The tooth movements in the *ClinCheck<sup>®</sup>* script may be secondarily modified at will by the orthodontist. This personal input is emphasized in the new *ClinCheck Pro<sup>®</sup>* version of the software [5] whereby orthodontists may adjust the treatment directly on the 3D digitized image, e.g., by producing buccolingual or mesiodistal translational movements, torque, extrusion, intrusion, and rotation. The orthodontist's first difficulty is to recognize that all produced movements remain within the physiological range over the wearing of successive aligners, which amounts to a testament to their excellence in preparation if successfully achieved. Through the software, they may add "attachments", "precision cuts", and inter-arch elastic bands. Each movement, attachment, and precision cut proposed by VOT can be modified by orthodontist especially if a given action is not deemed physiological or useful. The interactive work on the *ClinCheck<sup>®</sup>* between orthodontist and VOT may last several days. The *ClinCheck<sup>®</sup>* is finally a real 3D planning tool, a dynamic virtual set-up that open a dialog box between the orthodontist, the VOT and the maxillofacial surgeon.

#### 5. *Third orthodontics visit*

- The final ClinCheck<sup>®</sup> (Fig 2) is presented to the patient. If they accept it, the orthodontist orders the aligners for the pre-surgical orthodontic preparation phase.

The orthodontist usually receives the aligner series two weeks later. Once the treatment plan is confirmed by the orthodontist, modifications may still be brought with the exception of “midcourse corrections”, with the caveat that new impressions, radiographs, and photographs would have to be uploaded to the VOT so as to obtain a new ClinCheck<sup>®</sup> and a new series of aligners, which entail additional expense.

#### 6. *Fourth orthodontics visit*

- The orthodontist places the aligners by using the attachment template and composite material following the guidelines detailed elsewhere [6]. There are various types of attachments that create the different above-enumerated tooth movements; “power ridges”, “bite ramps” some of Invisalign’s<sup>®</sup> add-on innovations that assist in generating movements (Fig. 3). It is usually during this consultation that the stripping is performed, although this may be scheduled for later in the ClinCheck<sup>®</sup> if the orthodontist deems it appropriate.
- Stripping may be carried out on teeth that do not require rotations; otherwise, stripping has to be postponed. For an interproximal enamel reduction (IPR) between 0.1 - 0.2 mm we recommend using a handheld abrasive strip, for a 0.3-mm IPR – diamond discs, and for IPRs  $\geq$  0.4 - 0.5 mm – the Safe-Tipped Air-Rotor Stripping (STARS) burs of Sheridan [7,8].
- At the end of the 4<sup>th</sup> consultation the patient is provided with the entire series of aligners.

All orthodontists were in agreement as to the 2-week wearing time of each aligner. However, surgical cases are more intricate, in particular the frequent complex malocclusions. Therefore, our study orthodontists, and implicitly this protocol, advocate a two-week aligner change frequency in the pre-operative period and weekly aligner change in the finishing stage, notwithstanding that as of 2016 Invisalign<sup>®</sup> made recommendations for one-week wear for all of their aligners [9,10].

#### 7. *Periodic pre-operative orthodontics visits*

Checkup orthodontics visits ensue every 2 months to verify the aligners' effectiveness, oral hygiene, state of the periodontium, and patient compliance. After 12 - 18 months, the orthodontist assesses the outcome. If the outcome is adequate, the patient is ready for surgery and is referred to the maxillofacial surgeon for the 2<sup>nd</sup> surgery consultation. In the contrary situation, the orthodontist takes a new the intra-oral scanner in order to implement midcourse corrections.

#### 8. *Second maxillofacial surgery consultation*

After the last periodic orthodontic checkup and about 2 or 3 months before surgery, the surgeon verifies the orthodontic result and confirms or disallows operative readiness and the initially planned type of intervention. The orthodontic outcome is occasionally inadequate for a good occlusal relationship during maxillomandibular fixation (MMF) required for a reliable and stable result. At this point the surgeon needs telerradiography (face and profile) and orthopantomogram for cephalometric assessment.

#### 9. *Last pre-operative orthodontics visit*

- All attachments are removed at this stage.
- The practices of this consultation are divergent: while some orthodontists prefer setting up maxillomandibular locking screws, others suggest esthetic ceramic vestibular buttons on the anterior visible aspect of the arches and metal buttons in the posterior region, while still others prefer rigid appliances for an optimal MMF in terms of occlusal status. At any rate, our four study orthodontists prefer the anterior ceramic buttons combined with metal posterior buttons (Fig 4, A, B) because patients are demanding of esthetics and comfort. Ceramic buttons are placed on the central incisors, metal buttons on the teeth from the canine to the first molar, and no buttons on the lateral incisors. More buttons than needed are fixed in case of losing some during surgery.
- The first neutral aligner is then applied (with cut-out for the buttons' location) (Fig. 4, C).
- If the surgeon anticipated an intraoperative midpalatal split osteotomy, the orthodontist may prepare the post-operative neutral aligner (2<sup>nd</sup> neutral aligner) by applying heat to the central incisors zone of the aligner so as to create a transversal expansion to the size envisaged by the surgeon. This is a tip that we suggest given that the midpalatal split cannot be anticipated and programmed with ClinCheck<sup>®</sup> at the time of the present writing.

- The patient is referred for the last surgical consultation (the set-up) before orthognathic surgery.

#### 10. *Pre-operative maxillofacial surgery visit (surgical set-up visit)*

- This needs to take place a day or two before surgery so as to avoid potential parasitic dental movements that may occur over longer periods, which would complicate the surgery. The dental prosthetist will have performed the impressions for the plaster dental casts just before this visit, thus the surgeon conducts the patient examination (in the presence of the prosthetist) with these casts, bite registration, cephalometric radiographs, and clinical photos in order to carry out the final surgical setup.
- The movements to be performed during surgery are determined on an adjustable articulator at that point: amplitudes of movement in the transverse, sagittal, and vertical planes are defined to correct occlusal deformity and skeletal discrepancy aiming to obtain the ideal position of maxilla and/or mandible in an optimal relationship versus the rest of the cranio-facial complex.
- Occlusion guides are then manufactured by the prosthetist at the end of this visit [initial, intermediate (if bimaxillary osteotomy), and final guides] in order to make the transfer from the information collected during planning on articulator to actual surgery [13]. The guides can be printed out from a digitized setup as well.
- Once this is achieved, the surgical intervention may take place.

We agree with the statement of Taub & Palermo that “*the model surgery performed on the articulator reflects the utmost precision and accuracy of meticulous measurements and attention to detail to simulate surgical movements*” [11], which is supported by the fact that the plaster cast models are more precise than their digital counterparts [12]. Consequently, we recommend continuing the usage of plaster dental casts so long as this superiority continues to hold true, even if planning on 3D digital models is easier and faster.

#### 11. *Orthognathic surgery*

We use the modified Obwegeser-Dal Pont technique of bilateral sagittal split osteotomy [14,15] and the Le Fort I osteotomy procedure [16] for the mandibular and maxillary procedures, respectively. While some teams begin with mobilizing the maxilla and others with the mandible, we start by locating the mandibular condyles’ position, followed by mandibular osteotomy, and then proceed with maxillary osteotomy, which is based on the previously positioned and fixed mandible by making use of the *surgical occlusal guide*. We apply metal wire around the

buttons to complete the MMF. The differences with regards to orthodontic surgical preparation are debated in the Discussion.

Flawlessness in orthodontic preparation renders the orthognathic surgery easier and leads to stable results. While the quality of pre-surgical orthodontics is key to successful orthognathic surgery, so is the post-operative orthodontic treatment. Therefore, only graduated orthodontists with both knowledge and experience in the field, including experience with Invisalign<sup>®</sup>, may practice CAT and manage the ClinCheck<sup>®</sup> accurately and efficiently in surgical cases. Moreover, the orthodontist's knowledge in the field of orthognathic surgery is essential to achieve successful results. In fact, orthodontists have to make more concessions when using Invisalign<sup>®</sup> versus classic brackets because they need to attach the buttons just before surgery, which is more demanding than with traditional orthodontic treatment (where everything is already in place for the peri-operative MMF). Intermaxillary elastics are arranged around the buttons at the end of the intervention according to the desired compensations regarding the surgical result obtained.

#### *12. Post-operative hospital stay*

The 2<sup>nd</sup> neutral aligner set, tailored to the first molars (because the patients' post-operative mouth opening is limited), is placed 1 – 2 days after surgery while the patient is still hospitalized. If midpalatal split osteotomy was done, a palatal obturator made by the prosthetist is inserted to maintain the expansion; the patient is instructed to wear it for as many months as the numbers of millimeters of desired palatal expansion.

#### *13. First post-operative orthodontics visit*

All orthodontists agreed to see the patient again two weeks later so as to assess the elastic bands' position and correct details (class II or III tendencies) using inter-arch elastic forces (class II or class III elastics).

#### *14. Second post-operative orthodontics visit*

- A month after surgery a new 3D digitized dental model is created in ClinCheck<sup>®</sup>.
- The 3<sup>rd</sup> neutral aligner set is placed when the patient can fully open her mouth. The 2<sup>nd</sup> aligners are identical to the 3<sup>rd</sup> aligners except the former only extend to the first molar under the constraint of limited mouth opening, whereas the latter also encompass the second molars.



15. *Finishing stage of the post-operative orthodontic treatment*

- Two weeks after the previous visit the finishing aligners are received and placed on the patient's teeth.
- All the aligner series is entrusted to the patient, who is instructed to change them every week.
- A checkup consultation ensues every month until the end of the finishing phase, generally 6 months post-operatively. The buttons with elastics guides are removed (Fig. 5) between the 2<sup>nd</sup> and 6<sup>th</sup> post-operative months (where the most appropriate time is determined by the practitioner as a function of any potential post-operative mandibular retraction relative to the maxilla and conversely).

16. *Maxillofacial surgery control visits*

- Two maxillofacial surgery consultations ensue at the 2<sup>nd</sup> and 6<sup>th</sup> post-operative months, when the patient submits new radiographs that need to be inspected for skeletal relapse. The surgeon also checks for complications (e.g., inferior alveolar nerve sensitivity).

\*\*\*

- The total treatment time spanning the stages of the hereby presented protocol generally lasts 18 months on average, finishing phase included.

17. *Post-treatment retainer phase*

- Orthodontists were all in agreement that as of the 6<sup>th</sup> postoperative month a new intraoral scan may be performed and, from then on, neutral aligners be worn by the patient as orthodontic retainers only during the nighttime, for a minimal 1-year period.
- We also recommend adding a short metal wire fixed behind the central teeth (incisors and canines) and leave it *in situ* as long as possible, so as to counteract any parasitic dental movements potentially facilitated by older age and osteoporosis.

**Discussion**

The interest of proposing an orthodontic-surgical protocol in patients treated with Invisalign<sup>®</sup> has emerged from the dearth of literature on this subject: only three articles have hitherto addressed these two issues jointly and all were reports of individual cases.

In 2005 Boyd discussed two skeletal class III patients that underwent combined orthodontic preparation by Invisalign<sup>®</sup> and conventional fixed appliances for difficult movements (rotation and extrusion, notably in one of the cases) [17]. In contrast, our cases have been exclusively treated by Invisalign<sup>®</sup>, owing to advances and innovations made in CAT that allowed the use of progressively more powerful aligners that have become capable of achieving more complex movements. Boyd also preferred to use fixed appliances to ensure an efficient MMF, probably because buttons (a term Invisalign<sup>®</sup> uses for small plastic or metal brackets that serve as anchor points for elastic bands) were insufficiently known and reliable at that time. The use of traditional orthodontic brackets in the pre-operative preparation phase facilitates intraoperative MMF on occlusal guides, which is fundamentally different from our protocol that relies on Invisalign<sup>®</sup> and provides the benefit of esthetics and comfort [18]. The orthodontic finishing in Boyd's second case was carried out by means of brackets during the 4 post-operative months, whereas the present protocol recommends the use of Invisalign<sup>®</sup> in the finishing stage. The total treatment time exceeded 3 years in Boyd's first case, contrasting with 12-month duration currently attained with CAT [19,20], and 18 months on average achieved for the whole orthodontic / surgical treatment in our experience. Boyd's second patient had Invisalign<sup>®</sup> treatment for 27 months, followed by traditional braces set up 3 months before surgery, allowing MMF during surgery and orthodontic finishing over 4 months [17]; this treatment duration is also longer compared to our current practice.

Marcuzzi *et al.* presented the diagnosis and treatment plan in a patient with class III malocclusion [21], short of discussing in detail the orthodontic-surgical protocol inclusive of the necessary steps, or the chronology and interactions between surgeon and the practitioner who carries out the orthodontic treatment around the orthognathic surgery by means of CAT. However, it addressed an essential point that concurs with our protocol, i.e., the setting up of metal buttons just before orthognathic surgery, so as to facilitate the successful performance of MMF needed for osteosynthesis. We similarly propose metal buttons albeit solely on the posterior portions of the dental arches; in counter distinction, for the visible part of the arches (incisors to canines) we advocate using transparent ceramic buttons so as to comply with patients' requirements of esthetics. Marcuzzi *et al.* used an Osamu dynamic functional positioner in the finishing stage in order to obtain maximal intercuspitation [21], whereas our protocol suggests for that purpose contemporary aligners resulted from recent Invisalign<sup>®</sup> innovations that take into account changes done during orthognathic surgery. The orthodontic preparation time in the Marcuzzi *et al.* paper was 6 months [21], i.e., shorter than our patients (data yet to be published data, study in progress). Their total duration of treatment, surgery and orthodontic finishing included, was 10 months, with a 1-year follow-

up [21], which is shorter than in our experience, probably because of the relative complexity of our cases versus the moderate malocclusion case of Marcuzzi *et al.* [21].

The most recent report on orthognathic surgery with orthodontic preparation by Invisalign® concerned a skeletal class III patient and expounded more than the previous papers the ClinCheck® analysis and the orthodontist's contribution to modifying it [22] – an input we also stress in the present protocol. The ClinCheck® evaluations proposed by Invisalign® are very frequently short of being fully precise and predictable, especially with regards to complex movements. Indeed, even if dental movements are offered by Invisalign's® VOT, only the orthodontists' expertise and modifications they bring to the ClinCheck®, based on analysis and experience, are the guarantors of precision, efficiency of envisaged movements, and ultimately, therapeutic success. The duration of pre-operative orthodontic treatment with Invisalign® was 10 months in the Pagani *et al.* case, similar to our experience. The aligners were each worn for 15 days, like in our experience with the pre-operative phase. One day before surgery brackets were applied in order to achieve intraoperative MMF [22], which timing is in agreement with our protocol; in counter distinction, we propose the use of ceramic buttons, which are more esthetic, atraumatic to the periodontium, more comfortable, and facilitate oral hygiene. The brackets were removed and new impressions taken one month post-operatively [22], which fits the 2 to 6-month postoperative period espoused by our protocol. The orthodontic finishing was also done by Invisalign®, just like in our protocol. The total duration of treatment, finishing included, was 12 months [22], i.e., shorter than in our experience, possibly because of the relative complexity of our cases: the case of Pagani *et al.* had mild crowding with a left cross-bite and a lateral deviation of the mandible [22], which is very different from most of our patients who suffered from severe malocclusions that required more substantial finishing.

CAT is an interesting method with a greater periodontal health status than fixed appliances especially in terms of the plaque index (PLI) and the sulcus bleeding index (SBI) [23]. The patients' quality of life is also improved [24], mainly due to less discomfort and pain than those treated with fixed appliances [18]. Invisalign® patients need fewer visits (including emergency visits) than those treated with traditional appliances and their total chair time is shorter [20,25]. Therefore, it is our conviction that CAT, whenever practicable by practitioners and affordable to patients, has become the preferable technique in, but not restricted to, surgical patients.

Maxillomandibular fixation (MMF) is the most important surgical step because it guarantees the precision and a perfect occlusal stability during osteosynthesis; therefore we deem a brief literature review of this topic

suitable in this paper. Several MMF methods have been described [26]: Erich arch bar, MMF screws, bonded dental lugs, etc.

The advantage of MMF screws is that, when properly placed, the MMF is strong (the occlusion almost never loosens) and it reduces the needle-stick injury, therefore the occlusion is reliable and constant. On the other hand, the MMF screws entail additional incisions and pain, alter the state of the periodontium, and may lead to coverage of the screw by soft tissue [27]. Moreover, MMF screws may frequently be poorly positioned. A particular risk is that of accidental tooth root injury: 12.5% of screws caused root injury in a study [28]. Another study exposed the risk of dental root fractures [29]. Coburn *et al.* published cases of fracture of the screws on insertion, iatrogenic damage to teeth causing loss, and bony sequestra around the area of screw placement [30].

Bone-supported arch bars have the same disadvantages as MMF screws [11] and we do not recommend their use.

The Erich arch bar is the most commonly used MMF method. It provides accurate force vectors and is a reliable method but it entails adverse effects, such as mucosal injuries, a longer working time for its placement and removal, and an increased plaque-index [31]. The same pros and cons of the Erich arch bar hold true for the fixed appliances (hooks) that may be attached by the orthodontist solely for the purpose of / just before orthognathic surgery, yet it would be a pity to implement this tedious orthodontic procedure and lose the esthetic benefit of post-operative elastic guidance.

Ceramic buttons are hardly visible and thus generate satisfaction among patients. They also improve oral hygiene, are atraumatic to the periodontium, generate accurate force vectors, and are easy and quick to fix. Buttons are very easy to use during surgery when employing metal wire. No study has been published on MMF with buttons, but they have been commonly used since the advent of Invisalign®. Buttons carry few disadvantages, which may be overcome with the following tips. Since sometimes buttons do not hold during their placement or MMF, orthodontists have to fix them carefully, use good-quality adhesive, and ensure that there is enough of the latter to obtain a solid fixation that withstands the tension of steel wire. We advise placing ceramic buttons on the central incisors and metal buttons on canines to first molars, notwithstanding that ceramic buttons are known to be more fragile than their metal counterparts. In our experience ceramic buttons have never broken, yet one may overcome this potential problem by adding more buttons than needed as described in the protocol above. After patient discharge from hospital, buttons facilitate a smoother application of elastic bands than the brackets used

in traditional orthodontics. In conclusion, we deem ceramic and metal buttons the best MMF method for orthognathic surgery combined with Invisalign<sup>®</sup> because of their various advantages and low rate of injury.

### **Conclusion**

The combined treatment by CAT (Invisalign<sup>®</sup>) and orthognathic surgery is gradually expanding in the world of orthodontics and maxillofacial surgery. Invisalign<sup>®</sup> is a solution that combines esthetics, oral hygiene, comfort, and intraoperative ease of use by means of buttons. Thus, we deemed necessary a comprehensive protocol aiming to standardize all stages of the combined treatment and sharing them with orthodontists and orthognathic surgeons alike.

### **References**

1. Kesling HD. The philosophy of the tooth positioning appliance. Am J Orthod Oral Surg 1945;31:297-304.
2. Nahoum HI. The vacuum formed dental contour appliance. New York State Dent J. 1964;9:385-90.
3. Keim RG. The evolution of Invisalign. J Clin Orthod. 2017;51(2):69-70.
4. Wong BH. Invisalign A to Z. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2002;121(5):540-1.
5. Align Technology, Inc. ClinCheck Pro with 3D Controls. More precise control to help you achieve your treatment goals. Getting started kit. 2014. Available online [https://s3.amazonaws.com/learn-invisalign/docs/CCPro\\_GSG%20FINAL.pdf](https://s3.amazonaws.com/learn-invisalign/docs/CCPro_GSG%20FINAL.pdf). Accessed on 17-Jul-2018.
6. Shofu Dental Corporation, San Marcos, CA. Guidelines for placing attachments. Available online <http://www.shofu.com/en/wp-content/uploads/sites/2/2014/05/Placing-Removing-Attachments-Placemat.pdf>. Accessed on 19-Jun-2018
7. Sheridan JJ. Air-rotor stripping. J Clin Orthod. 1985;19(1):43-59.
8. Chudasama D, Sheridan JJ. Guidelines for contemporary air-rotor stripping. J Clin Orthod. 2007;41(6):315-20
9. Align Technology, Inc. Align Technology introduces one-week aligner wear for Invisalign<sup>®</sup> teen and full products. 2016. Available online [http://files.shareholder.com/downloads/ALGN/0x0x911245/97B77ABF-2A35-4552-8B18-E48398710C6C/ALGN\\_News\\_2016\\_10\\_11\\_Financial\\_Releases.pdf](http://files.shareholder.com/downloads/ALGN/0x0x911245/97B77ABF-2A35-4552-8B18-E48398710C6C/ALGN_News_2016_10_11_Financial_Releases.pdf). Accessed on 17-Jul-2018.

10. Fry R. Weekly aligner changes to improve Invisalign treatment efficiency. *J Clin Orthod.* 2017;51(12):786-91.
11. Taub DI, Palermo V. Orthognathic surgery for the Invisalign patient. *Semin Orthod.* 2017;23:99-102.
12. Duarte-Moreira D, Gribel BF, Roque-Torres GD, *et al.* Reliability of measurements on virtual models obtained from scanning of impressions and conventional plaster models. *Braz J Oral Sci.* 2014;13(4):297-302.
13. Pascal E, Majoufre C, Bondaz M, *et al.* Current status of surgical planning and transfer methods in orthognathic surgery. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2018;119(3):245-8.
14. Zambrano Gómez JH. [Correction of mandibular prognathism with the modified Obwegeser-Dal Pont technique]. *Acta Odontol Venez.* 1975;13(1-3):3-77.
15. Obwegeser H. The indications for surgical correction of mandibular deformity by the sagittal splitting technique. *Br J Oral Surg.* 1964;1:157-71.
16. Le Fort R. [Experimental study of fractures of the upper jaw]. *Revue Chir de Paris* 1901;23:208-27,360-79, 479-507.
17. Boyd RL. Surgical-orthodontic treatment of two skeletal Class III patients with Invisalign and fixed appliances. *J Clin Orthod.* 2005;39(4):245-58.
18. White DW, Julien KC, Jacob H, *et al.* Discomfort associated with Invisalign and traditional brackets: A randomized, prospective trial. *Angle Orthod.* 2017;87(6):801-08.
19. 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;128(3):292-8; discussion 298.
20. Buschang PH, Shaw SG, Ross M, *et al.* Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces. *Angle Orthod.* 2014;84(3):391-6.
21. Marcuzzi E, Galassini G, Procopio O, *et al.* Surgical-Invisalign treatment of a patient with Class III malocclusion and multiple missing teeth. *J Clin Orthod.* 2010;44(6):377-84.
22. Pagani R, Signorino F, Poli PP, *et al.* The use of Invisalign<sup>®</sup> system in the management of the orthodontic treatment before and after class III surgical approach. *Case Rep Dent.* 2016;2016:9231219.

23. Lu H, Tang H, Zhou T, Kang N. Assessment of the periodontal health status in patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances and Invisalign system: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*.2018;97(13):e0248.
24. Azaripour A, Weusmann J, Mahmoodi B, *et al*. Braces versus Invisalign®: gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study. *BMC Oral Health*. 2015;15:69.
25. Zheng M, Liu R, Ni Z, Yu Z. Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2017;20(3):127-33.
26. McGinn JD, Fedok FG. Techniques of maxillary–mandibular fixation. *Operat Tech Otolaryngol*. 2008;19:117-22.
27. Hashemi HM, Parhiz A. Complications using intermaxillary fixation screws. *J Oral Maxillofac Surg*. 2011;69(5):1411-4.
28. Hartwig S, Boettner A, Doll C, *et al*. Drill-related root injury caused by intraoperative intermaxillary fixation: an analysis of 1067 screw applications. *Dent Traumatol*. 2017;33(1):45-50.
29. Grailon N, Gallucci A, Foletti JM, *et al*. [Intermaxillary fixation screws-complications]. *Rev Stomatol Chir Maxillofac Chir Orale*. 2014;115(6):329-30.
30. Coburn DG, Kennedy DW, Hodder SC. Complications with intermaxillary fixation screws in the management of fractured mandibles. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2002;40(3):241-3.
31. Rai A, Datarkar A, Borle RM. Are maxillomandibular fixation screws a better option than Erich arch bars in achieving maxillomandibular fixation? A randomized clinical study. *J Oral Maxillofac Surg*. 2011;69(12):3015-8.
32. Invisalign. SmartForce features and attachments. Available online: [https://s3.amazonaws.com/learn-invisalign/docs/SmartForce%20Features%20and%20Attachments\\_en-gb-en.pdf](https://s3.amazonaws.com/learn-invisalign/docs/SmartForce%20Features%20and%20Attachments_en-gb-en.pdf). Accessed on 17-Jul-2018.

**Figure captions:**

**Figure 1.** Flowchart of the proposed protocol for combined orthognathic surgery and Invisalign<sup>®</sup>. The protocol steps are detailed in the Results section of the text.

**Figure 2.** ClinCheck<sup>®</sup> images. **A.** Set-up of optimized mandibular and maxillary attachments. The callouts indicate the number of millimeters of stripping. **B.** ClinCheck<sup>®</sup> after orthodontic preparation and just before orthognathic surgery (about 12 months after treatment onset). The callouts indicate the number of millimeters of stripping **C.** ClinCheck<sup>®</sup> just after surgery (the attachments were removed before surgery).

**Figure 3.** Invisalign's (SmartForce<sup>®</sup>) armamentarium of attachments and features [32].

**Figure 4.** Intraoral photographs of a patient with maxillo-mandibular discrepancy after orthodontic preparation and just before orthognathic surgery, i.e., about 12 months after treatment onset. **A.** Anterior view, without aligners, of the ceramic buttons on the anterior part and metal buttons on the posterior part of the arches, required for MMF. **B.** Inferior view of the maxillary arch with the same buttons, without aligners. **C.** Anterior view of with aligners in place; black arrows pointing at the cut-outs created for buttons on the upper incisor in the maxillary arch aligner.

**Figure 5.** Intraoral photograph after the orthodontist has removed most metal and ceramic buttons, leaving only some metal buttons for hooking up the elastic bands.



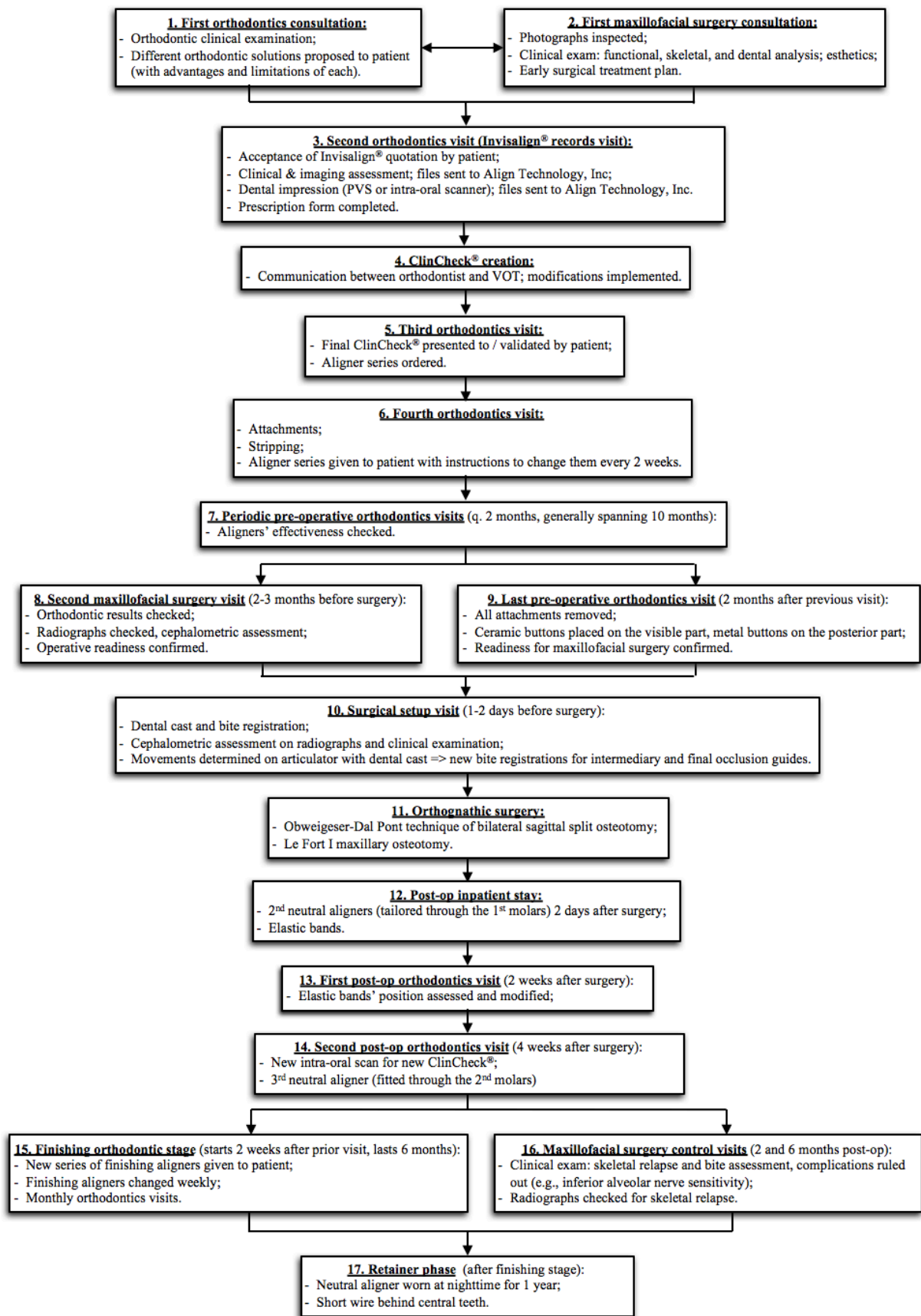


Fig. 1

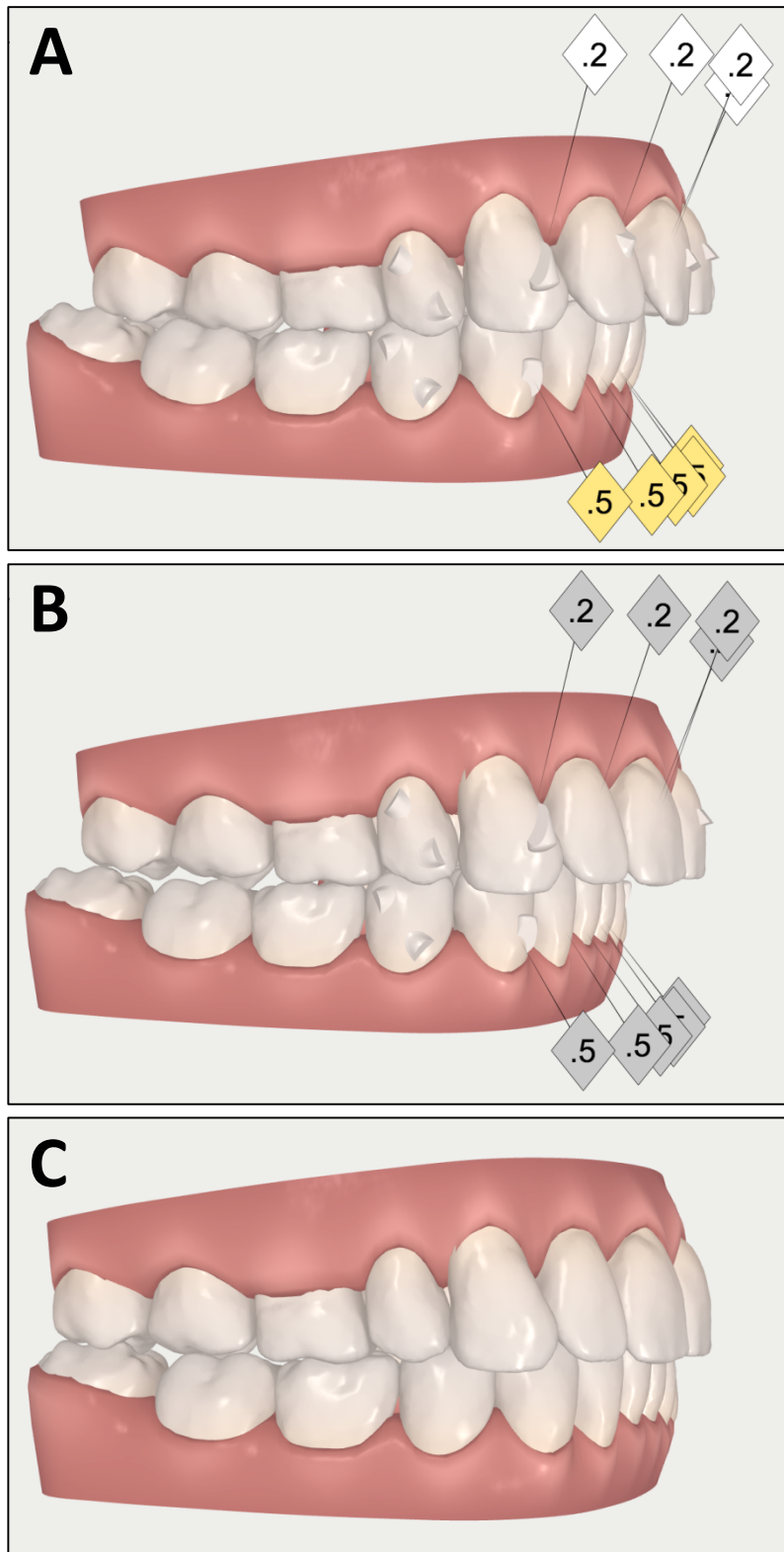


Fig. 2












Feature		Movement	Available on	Visual
Buccal Power Ridge		Lingual root torque	Upper and lower incisors	
Buccal Power Ridge + Lingual Power Ridge		Lingual root torque and retraction	Upper incisors	
Optimized Rotation Attachment		Rotation	Upper and lower canines and premolars	
Optimized Extrusion Attachment		Extrusion	Upper and lower incisors and canines	
Multi tooth anterior extrusion		Extrusion	Upper incisors	
Optimized Root Control Attachment		Tipping	<ul style="list-style-type: none"> <li>Upper central and lateral incisors</li> <li>Upper and lower canines and premolars</li> </ul>	
Optimized Multi-plane Movement features		Extrusion ± crown tipping ± rotation	Upper lateral incisors	
Deep Bite Attachments		During anterior intrusion, Deep Bite Attachments are used for anchorage/retention or activated for premolar extrusion	Upper and lower premolars	
Pressure Areas		Anterior intrusion	Incisors and lower canines	
Precision Bite Ramps (are not SmartForce® features per se, but can be prescribed by the Provider, and are placed depending on compatibility with other features).		Disocclude the posterior teeth	Upper incisors	
Multi-Tooth Unit	Optimized Retraction Attachment	Canine retraction	Upper and lower canines	 <small>Note: variation in type of attachment, or variation of attachment placement can occur for short crowns.</small>
	Optimized Anchorage Attachment	Posterior anchorage	Upper and lower second premolars and molars	

Fig.3



Fig. 4



Fig. 5



## 8.2. Article n°2 : soumis à l'« *European Journal of Orthodontics* »

Comparative cohort study of treatment outcomes in maxillomandibular discrepancy cases treated by orthognathic surgery in conjunction with Invisalign<sup>®</sup> versus traditional fixed orthodontic appliances

Authors: Daouri, A., Gleizal, A., Majoufre, C., Makaremi, M., Nimeskern, N. and Asselborn, M.

Amine DAOURI, MD – resident of oral and maxillofacial surgery<sup>a,b</sup>

Arnaud GLEIZAL, MD, PhD – oral and maxillofacial surgeon<sup>c</sup>, professor of oral and maxillofacial surgery<sup>d</sup>

Claire MAJOUFRE, MD, PhD – oral and maxillofacial surgeon<sup>a</sup>, professor of oral and maxillofacial surgery<sup>b</sup>

Masrour MAKAREMI, MD – orthodontist<sup>e</sup>

Nicolas NIMESKERN, MD – maxillofacial surgeon<sup>f</sup>

Marc ASSELBORN, MD – orthodontist<sup>g</sup>

<sup>a</sup> Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Pellegrin Hospital / Bordeaux Hospital University Center, rue de la Pelouse de Douet, 33000 Bordeaux, France

<sup>b</sup> Bordeaux Segalen University, 146 Rue Léo Saignat, 33000 Bordeaux, France

<sup>c</sup> Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Hôpital de la Croix-Rousse / Hospices Civils de Lyon, 103 Grande rue de la Croix Rousse, 69317 cedex 04 Lyon, France

<sup>d</sup> Claude Bernard University, 43 Boulevard du 11 Novembre 1918, 69100 Villeurbanne, France

<sup>e</sup> Private practice, 2, Rue des Deux Conils, 24100 Bergerac, France

<sup>f</sup> Private practice, 1 Rue Saint-Sauveur, 68100 Mulhouse, France

<sup>g</sup> Private practice, 23 Rue Clément Michut, 69100 Villeurbanne, France

### Corresponding author:

Amine DAOURI

e-mail: [daouri.amine@gmail.com](mailto:daouri.amine@gmail.com)

address: Secrétariat du service de Chirurgie Maxillo-Faciale, Bâtiment C0, Centre François-Xavier Michelet, Hôpital Pellegrin, Centre Hospitalier Universitaire de Bordeaux, rue de la Pelouse de Douet, 33000, Bordeaux

phones: (+)33 6 68 30 96 95; [+33 5 56 79 55 33

fax: (+)33 5 56 79 60 37

## ABSTRACT

**Introduction:** The literature is scarce on the treatment of severe maxillomandibular discrepancy (MMD) requiring orthognathic surgery (OS) in combination with clear aligner therapy (CAT).

**Method:** The effectiveness of the 3<sup>rd</sup> generation Invisalign<sup>®</sup> + OS was compared with conventional OT (braces) + OS by means of the American Board of Orthodontics' Cast-Radiograph Evaluation (C-R Eval) in a retrospective cohort study of patients with MMD. A treatment protocol was adhered to in all patients in the combined Invisalign<sup>®</sup> + OS group.

**Results:** The final C-R Eval score (median [95% CI]) was not statistically different between the 'Invisalign' group (A) and 'braces' group (B): 26 [24.3 – 27.0] vs. 27 [23.3 – 28.0], respectively,  $P = 1.00$ . The length of combined treatment (OT + OS) was significantly shorter in the 'Invisalign' group (18.6 [17.6 – 19.6] months) than the 'braces' group (24.1 [22.0 – 26.1] months),  $p < 0.0001$ . A strong correlation emerged between the total discrepancy index (DI) scores and treatment lengths in both group A (Spearman's rho 0.922,  $P < 0.0001$ ) and group B (Spearman's rho 0.815,  $P < 0.0001$ ). No correlation transpired between the total DI and C-R Eval scores in either group.

**Conclusion:** CAT is becoming an effective OT to be considered on an equal footing with traditional braces when needed in combination with OS in the treatment of severe MMD. The majority of orthodontic criteria scored equivalent degrees of correction with the two orthodontic techniques, Invisalign<sup>®</sup> and braces, with the former's advantage of significantly shorter combined treatment length, compounded by superior aesthetics, comfort, and oral hygiene.



## Introduction

The concept of moving teeth as a series of planned stages utilizing set-up models and vacuum-formed clear appliances or positioners collectively known today as clear aligner therapy (CAT) has been a revolutionary innovation in orthodontics. CAT has its origins in the 1920s when Remesnyder published on the “Flex-O-Tite” gum massaging appliance designed to treat periodontal disease, which led to the realization that teeth had moved (1). This finding was then progressively brought to fruition in the early works of Kesling (2) and Nahoum (3) resulting in the tooth positioner concept based on the resilience of plastic aligners that generated minor tooth rotation and tipping. In the 1970s, Ponitz fabricated an appliance called the “invisible retainer” made on a master model that prepositioned teeth with base-plate wax (4) and was followed by McNamara *et al.* who introduced the original notion of positive pressure in manufacturing process of thermoformed aligners, rather than by the suction system described earlier by Nahoum (3), which led to the Biostar<sup>®</sup> system. Sheridan subsequently sublimated this body of knowledge into a real orthodontic solution involving interproximal tooth reduction and progressive alignment using clear Essix<sup>®</sup> appliances (6). This technique was based on Kesling’s proposal, but almost every tooth movement required a new model set-up and therefore a new set of impressions at almost every visit, making the technique excessively time-consuming.

In 1997, with the introduction of clear orthodontic aligners that have become known under the proprietary name Invisalign<sup>®</sup> Align Technology, Inc. (San Jose, California), available to orthodontists in 1999, made Kesling’s proposal more practical. Instead of necessitating a new set-up for each new aligner, Invisalign involves CAD-CAM technology, combined with laboratory techniques, to fabricate a series of clear positioners / aligners that, when worn almost continually (22h/24h), each aligner worn for two weeks, will move the teeth in small increments of about 0.25 to 0.3 mm. Based on 50 years of scientific prior experience in the field, Invisalign<sup>®</sup> has been recently praised as a technological novelty of rarely precedented impact on the specialty (7). The additional innovation has been its ancillary 3D tooth-movement simulation software. The orthodontic solution imparted by Invisalign is increasingly consistent with contemporary patient expectations, such as aesthetics (imperceptible) (8), comfort (less pain and mucosal trauma) (9-14), ease of use, and shorter treatment duration (15).

Since its advent, many studies have been controversially advocated the efficacy and criticised the limitations of CAT in orthodontics. The first studies published in the early 2000s recommended the exclusive

use of Invisalign® in mild to moderate cases of dental malocclusion (16,17). Over the last 20 years, clear aligners have undergone true technological evolution in terms of materials, shapes, and the optional use of attachments, while the professional literature grew richer on the topic of Invisalign®'s use in ever more complicated cases such as tooth extraction, open bite, deep bite, etc (18-22). These studies have broadened the spectrum of CAT indications to currently encompass moderate and severe malocclusions. Some works have shown that fixed orthodontic appliances are more effective than earlier clear aligners in achieving most of the intended orthodontic movements (rotation, posterior mesial distalisation, ingression, egression, buccolingual inclination, and marginal ridge levelling), yet those were older studies that predated the latest technologies developed by Align Technology, Inc., notably the last (3<sup>rd</sup>) generation of aligners issued in 2013 (23).

In 2012, Robert Keim, the editor of the Journal of Clinical Orthodontics concluded that “[since] Invisalign went through a process of improvement and refinement”, “today, practically any malocclusion can be successfully treated using this or similar systems” (24), a view that is still endorsed today (25). However, only a few studies have addressed the effectiveness of CAT in general. The orthodontic results in these studies were evaluated in a standardized manner by means of either the Peer Assessment Rating (PAR) index (26), or the American Board of Orthodontics’ objective Model Grading System (ABO-OGS or MGS) (27-30) a.k.a. Cast-Radiograph Evaluation score (C-R Eval) (31). Until recently practitioners have refrained from using CAT in cases of maxillomandibular (dento-skeletal) discrepancy that required orthognathic surgery (OS) combined with orthodontic treatment (OT). Indeed, as the perioperative maxillomandibular fixation (MMF) is an essential stage in OS, many practitioners have preferred performing the MMF by traditional OT relying on fixed appliances.

Only individual case reports have been hitherto published on the subject of combined OT + OS, and showed remarkable results (32-35). No study has evaluated the effectiveness of Invisalign®, let alone of the latest (3<sup>rd</sup>) generation of Invisalign®, by means of standardized systems in cases of maxillomandibular discrepancy. Consequently, the main goal of the present study was to evaluate by means of the MGS the effectiveness of the 3<sup>rd</sup> generation of Invisalign® versus conventional OT by fixed appliances in patients with maxillomandibular discrepancy that require OS. The secondary objectives were to determine whether the

total Discrepancy Index (DI) score, espoused by the ABO, had an impact on total treatment length (TL) and total C-R Eval score.

### **Materials and Method**

We carried out a retrospective two-group comparative cohort study of patients with maxillomandibular discrepancy who had undergone OT by the 3<sup>rd</sup> generation of Invisalign<sup>®</sup> combined with OS versus traditional OT + OS. Despite the retrospective nature of patient selection, a unique treatment protocol was uniformly adhered to in the combined 3<sup>rd</sup> generation Invisalign<sup>®</sup> and OS in all of the study subjects in that group. This protocol is being currently published (36).

From a clinical research ethics viewpoint, and in line with a 2016 French law (37), the present study did not require obtaining patients' informed consent insofar as the study was non-interventional and all procedures and materials used therein had already been routinely employed in orthodontics and maxillofacial surgery. In contrast, a declaration (no. 2170983v0) was filed with the French National Commission on Information Technology and Civil Liberties, the regulatory body in charge of personal data privacy collection, storage, and use in this country.

The study subjects were treated between 2016 and 2017. OT was carried out by four orthodontists in their respective private practices, whereas OS was carried out in all study patients the by a single surgeon (A.G.) in the maxillofacial surgery department of Hospices Civils de Lyon, Croix Rousse.

The inclusion criteria were: (1) patients with dental malocclusion that have undergone mandibular and maxillary OT by Invisalign<sup>®</sup> (group A, "Invisalign") and by traditional OT (group B, "braces"), (2) patients with dento-skeletal discrepancy necessitating OS associated with OT preparation and finishing in both groups, (3) patients having completed skeletal growth and having permanent teeth in both groups.

The exclusion criteria were identical in both groups and comprised: (1) congenital craniofacial malformation (cleft lip / palate, craniosynostosis), (2) deteriorated dental and periodontal condition, (3) *status post* (s/p) tooth extraction, (4) s/p previous OT and/or OS, (5) patients whose pre- and post-treatment dental plaster cast models and/or radiographs (anteroposterior and lateral, as well as orthopantomogram) were not available for MGS evaluation.

Two time points were defined along the therapeutic course: T0 – the baseline just before the onset of treatment and Tf – after the finishing stage of OT, which marked the end of treatment.

Age, sex, Angle's malocclusion class, and the severity of malocclusion were documented in each patient at T0. The malocclusion severity was graded by the first author (A.D.) using the standardized DI of the ABO. The DI consists of a composite score of (1) 10 target parameters (38) (Figure 1), which are measured before treatment, i.e., 8 criteria (overjet, overbite, anterior open bite, lateral open bite, crowding, occlusal relationship, lingual posterior cross-bite, buccal posterior cross-bite) measured on plaster cast models precisely and with good intra-examiner reliability and inter-examiner reproducibility (39) by means of the ABO measuring gauge (Figure 2) (40), (2) one cephalometric score measured on radiographs by means of the OrthoCAD<sup>®</sup> software (Align Technologies, Inc., San Jose, California), and (3) one score for other classification exemplars (38). The higher the total DI score, the higher the malocclusion severity and case complexity. The malocclusion severity was stratified by the total DI score as mild (7-15), moderate (16-24), and severe ( $\geq 25$ ), in accordance with the ABO DI guidelines (27,30).

The effectiveness of combined OT and OS was determined by the main author at Tf in both groups using the MGS (C-R Eval score) (Figure 3) comprising 8 scoring parameters, i.e., alignment/rotations, marginal ridges, buccolingual inclination, overjet, occlusal contacts, occlusal relationship, interproximal contact, and root angulation (41). The lower the C-R Eval score, the better the outcome. The ABO considers a total C-R Eval score  $\leq 20$  points as successful treatment,  $\geq 30$  points as failed treatment (an implicitly failed ABO examination), scores ranging between 21 and 29 as borderline therapeutic success (42), while the ABO may evaluate a case as Complete if the total C-R Eval score is 27 or lower (41).

Additionally, the total DI and C-R Eval scores were determined separately by a second examiner. Both examiners had passed a prior training phase on the ABO Calibration Kit (40) in order to bring the intra-examiner measurement reliability to an optimum. The inter-examiner agreement (reproducibility) was then determined.

#### *Statistical analysis*

Statistical analysis of the data was performed using the MedCalc<sup>®</sup> software, version 18.9, Ostend, Belgium.

The two groups were compared by using the following tests, in which whenever the P-value was sufficiently small ( $P < 0.05$ ), a statistically significant difference between the two samples was accepted. Categorical variables from non-ordered categories (gender, malocclusion type, and OS type) were compared with the two-tailed chi-squared test. Categorical variables from ordered categories (malocclusion severity levels, success levels by total C-R Eval score) were compared with the Cochran-Armitage chi-squared test for trend. Continuous variables (age, treatment length) and ordinal variables (total DI score, total C-R Eval score, and individual score parameters of the latter two) were checked for Normal distribution by the Shapiro-Wilk test. Continuous variables whose distribution was not Normal were compared with the Mann-Whitney U test for independent samples, whereas their counterparts whose distribution emerged as Normal were compared with the t-test for independent samples (with equal variances or correction for unequal variances, as determined by a prior F-test). The degrees of association between two continuous or ordinal variables, i.e., total DI score vs. treatment duration and total DI score vs. total C-R Eval score, were assessed by the Spearman rho and Kendall's tau ranked correlation coefficients, with afferent 95% confidence intervals (CI) and P-values. The inter-examiner agreement (reproducibility) of total DI and C-R Eval scores was determined by means of three measures: (1) the relative technical error of measurement (%TEM), (2) the intraclass correlation coefficient (ICC) along with its 95% confidence intervals (CI) (same examiner for all subjects, two-way model, checking absolute agreement), and (3) the linear-weighted Kappa.

## Results

The study comprised 46 study patients who fulfilled the eligibility criteria: 23 patients in the investigational group (A, Invisalign) and 23 patients in the control group (B, fixed appliances). The latter were almost identical in terms of age (median 28 years [95%CI: 26.0 – 31.0] in group A versus 28 years [95% CI: 21.3 – 34.3] in group B,  $P = 0.621$ ) and sex distribution (with a 61% majority of women in each group) (Table 1).

The 'Invisalign' and 'braces' groups were also very similar at T0 with reference to malocclusion class distribution ( $P = 0.984$ ), namely a higher proportion of Angle class II than class III malocclusions in each group (Table 1). The severity of malocclusion in group A (mean [ $\pm$ SD] total DI score 30.6 [ $\pm$ 8.8]) was also very similar to that in group B (mean [ $\pm$ SD] DI score 30.8 [ $\pm$ 11.8],  $P = 0.944$ ), whereas none of the ten DI parameters marked statistically significant differences between the two study groups (Table 1).

Expectedly, similar results were obtained when the total DI scores were translated from ordinal variables to categorical levels of malocclusion severity, as suggested by the ABO DI guidelines, namely, the distribution of mild, moderate, and severe categories of malocclusion revealed no statistically significant difference between the 'Invisalign' and 'braces' groups ( $P = 0.281$ ) (Table 1).

The total DI score's inter-examiner agreement (reproducibility of the main examiner's score by the second examiner) was very good (Table 2).

The OS techniques included the modified Obwegeser-Dal Pont technique of bilateral sagittal split osteotomy and the Le Fort I osteotomy procedure employed for the mandibular and maxillary procedures, respectively. These were performed either alone, or in combination with one another, or in combination with ancillary procedures such as midpalatal split, mandibular constriction, advancement genioplasty, or *transverse reduction genioplasty*. The distribution of surgical techniques and combinations thereof was not statistically significantly different between the two study groups ( $P = 0.156$ ) (Table 3).

The total treatment length of combined treatment (median [95% CI]) was significantly shorter in the 'Invisalign' group (18.6 [17.6 – 19.6] months) than the 'braces' group (24.1 [22.0 – 26.1] months,  $p < 0.0001$ ) (Table 3, figure 3).

Several individual MGS parameters marked statistically significant differences between the groups, some parameters proving CAT more effective, i.e., total alignment ( $P < 0.0001$ ), interproximal contacts ( $P = 0.0172$ ), and root angulation ( $P = 0.0116$ ), whereas others seemed to show a superiority for the traditional fixed appliances, i.e., buccolingual inclination ( $P = 0.0001$ ) and occlusal contacts ( $P < 0.0001$ ), while no statistically significant differences transpired between the groups for marginal ridges, overjet, and occlusal relationship (table 3). However, the overall effectiveness of combined OT + OS treatment reflected in the total C-R Eval score (median [95% CI]) at Tf was not statistically different between the two groups: 26 [24.3 – 27.0] vs. 27 [23.3 – 28.0], in the 'Invisalign' vs. 'braces', respectively,  $P = 1.00$ . The same lack of significant difference transpired from total C-R Eval score break-down into ABO categories of therapeutic success ( $P = 0.736$ ): some cases marked complete success defined as a total C-R Eval score of  $\leq 20$  points (9% in the 'Invisalign' group and 4% in the 'braces' group), most patients (74% in group A and 87% in group B) completed treatment with borderline success (total C-R Eval score between 21 and 29), whereas the remainder (17% and 9% in group A and B, respectively) failed treatment according to the ABO standard ( $\geq 30$

points) (table 3). In other words, if partial or complete effectiveness is defined as < 30 points on total C-R Eval score, 83% of patients treated with 'Invisalign' and OS and 91% of patients treated with traditional orthodontic fixed appliances and OS qualified for therapeutic success.

With regards to the study's secondary goals of verifying the correlation between total DI scores and total treatment durations, we found a strong correlation in group A (Spearman's rho 0.922,  $P < 0.0001$ ; Kendall's tau 0.807,  $P < 0.0001$ ) and a good correlation in group B (Spearman's rho 0.815,  $P < 0.0001$ ; Kendall's tau 0.660,  $P < 0.0001$ ) (Figure 4). Contrarily, no correlation emerged between the total DI and C-R Eval scores in either group: group A: Spearman's rho -0.053,  $P = 0.809$ ; Kendall's tau -0.0534,  $P = 0.700$ ; group B: Spearman's rho 0.044,  $P = 0.842$ ; Kendall's tau 0.017,  $P = 0.9331$ .

The total C-R Eval score's inter-examiner agreement (i.e., reproducibility of the main examiner's score by the second examiner) was very good (Table 4).

## Discussion

The professional literature on the topic of combined orthodontic treatment (OT) with CAT and orthognathic surgery (OS) has been scarce. Four reports of cases treated by OS combined with Invisalign® have been published by the time of this writing (October 2018) (32-35). In 2005, Boyd presented two patients with skeletal class III treated with Invisalign® for 2 – 3 years, supplemented by traditional OT 3 months before OS, followed post-operatively by traditional OT finishing (32). The functional and aesthetic outcome was satisfactory but the overall treatment had a long duration. Furthermore, it did not bear resemblance to our currently espoused protocol, which relies on the 3<sup>rd</sup> Invisalign generation as well as our innovative MMF technique (36). Marcuzzi *et al.* published in 2010 the case of a patient with class III malocclusion and missing maxillary lateral incisors who benefitted from surgical and Invisalign treatment. The functional and aesthetic results were excellent and the total treatment length was 10 months, i.e., significantly shorter than in Boyd's cases. In fact, this was even shorter than the mean treatment length of 18.6 months obtained in our present series, with the caveat that our patients had more complex malocclusion the Marcuzzi *et al.* patient (33). In further counter distinction, the therapeutic protocol, which was respected in all of our 23 patients in the Invisalign group, is more innovative mostly with regards to the more aesthetic and comfortable MMF technique (36). Pagani and colleagues described the case of a 23-year-old patient who suffered from a class

III malocclusion with left mandibular lateral deviation and cross-bite involving the left upper canine and first premolar (34). OT by Invisalign® was implemented for 10 months, followed by OS and subsequent orthodontic finishing by Invisalign® for 2 months (34). While this patient benefited from excellent overall aesthetic and functional results and his treatment approximated the protocol and treatment duration of our Invisalign-group patients, it differed from the latter in one essential aspect: Pagani *et al.* carried out the MMF by means of pre-operatively applied brackets and hooks that caused a temporary loss of aesthetics and comfort (34).

Two therapeutic protocols have focused exclusively on the peri-operative MMF (43-44) but no series of patients undergoing combined OT and OS has been hitherto published. Our recently published therapeutic protocol covers the entirety of the combined OT + OS (36) and all 23 subjects treated in the Invisalign group of the present series adhered to this protocol.

The present comparative study demonstrated for the first time the lack of statistically significant difference in C-R Eval scores and, consequently, the effectiveness of combined orthodontic and surgical treatment of patients with dento-skeletal discrepancy, between a group that underwent the OT component by Invisalign® and a similar group in which the OT was performed by braces. Similar absence of significant difference between the total C-R Eval scores of 'Invisalign' groups versus their counterparts treated with fixed appliances was found by some of the previous comparative studies of pure OT (without OS) (28,30), although another pure OT study found a significantly better total C-R Eval score for braces than Invisalign (27).

We found CAT to be more effective than traditional fixed appliances on certain individual MGS parameters, i.e., alignment and interproximal contacts. Earlier comparative cohort studies of pure OT revealed that Invisalign was more effective than braces in the total alignment category (27,28). One of the rare randomized controlled trials (RCT) that compared the two methods in pure OT of extraction cases found a trend (short of statistical significance) for a better alignment with Invisalign (30). Alignment is probably the most visible, therefore most important, orthodontic criterion in patients' eyes, consequently making the case for using CAT on a larger scale, namely proposing it, on an equal footing with fixed appliances, to surgical patients at the outset of combined OT + OS management.



Fixed appliances proved more effective in the present study in terms of buccolingual inclination and movements of the posterior teeth, i.e., the premolar-molar extrusion reflected in the lower occlusal contacts score. These were the very two individual MGS parameters that also emerged as significantly better with fixed appliances than Invisalign® in the afore-mentioned RCT of patients that underwent pure OT (30). Similarly, in their comparative study of pure OT, Djeu *et al.* also obtained better scores for the correction of buccolingual inclination and occlusal contacts by braces than by Invisalign (27). Despite these results that showed the superiority of fixed appliances in correcting buccolingual inclination is treated more effectively, a 2016 study showed that Invisalign® has also become very successful in normalizing this MGS criterion (29).

Our study showed similar marginal ridges scores between the two groups, meaning that levelling the curve of Spee by extrusion of molars and/or intrusion of incisors is equally effective with both OT methods, thus corroborating the findings of previous pure OT series (26,27,29,30).

While an early study revealed significantly superior scores for braces in correcting occlusal relationships and overjet, along with a lower total C-R Eval score (27), these results had emerged from the 1<sup>st</sup> Invisalign generation at a time when practitioners' overall experience with CAT was lesser (17). In the present study of combined OT + OS, we expected similarly very good results in both groups with regards to the overjet and occlusal relationship categories because it is the OS that brings about most of the antero-posterior displacement, generally fixing these criteria identically regardless of OT method, hence the similarity in the respective C-R Eval scores obtained in the two groups.

While earlier studies have found that CAT and fixed appliances reached similar scores on interproximal contacts (27), a perfect C-R Eval score was obtained for this criterion by more than 95% of our Invisalign-treated patients, along with a statistically significant superiority over the braces group, albeit without any clinically detectable difference. This has been expected since CAT is known to consistently produce adequate space closure of up to 6 mm by progressively tipping teeth into spaces in small increments (30).

We found a statistically significant difference in the C-R Eval score for root angulation favouring CAT, in discrepancy with previous findings of similarity between the two methods obtained in pure OT (27). However, these findings should be interpreted with caution because they may result from potential patient

selection bias, notwithstanding the major improvement Invisalign® has marked in root angulation correction since the introduction of optimized ellipsoid attachments.

In summary, although several previous studies performed on patients undergoing pure OT (without OS) revealed that that braces may be superior to CAT on various MGS criteria, those were mostly older studies that had been carried with older generations of Invisalign products (27,28). Novel technologies and innovations have been implemented in recent years, e.g., the SmartForce® armamentarium of optimized attachments and other auxiliary features (45), along with progress in materials technology that yielded a new thermoplastic polyurethane with an integrated elastomer - the SmartTrack® aligner material. The latter is supposed to apply continuous light forces to the teeth and whose greater elasticity should guarantee greater predictability in terms of orthodontic movement than the older flexible material (Exceed-30) that had been used before 2013 (46). The present comparative cohort study is the first in the professional literature that evaluated by means of the MGS the effectiveness of the 3<sup>rd</sup> generation Invisalign® versus traditional braces in the combined OT + OS treatment of patients with maxillomandibular discrepancy. Thus, it is safe to presume that the above-detailed recent innovations implemented in the new Invisalign generation, along with practitioners' improved experience on their learning curves, have jointly led to the hereby demonstrated equalization of the differences that had favoured fixed appliances over CAT in pure OT studies more than a decade ago.

The C-R Eval scores obtained in both groups are lower than in all other studies of pure OT (without OS). The mean treatment lengths achieved in the present comparative study (OT + OS) versus that obtained in the 2007 comparative study (pure OT) (28) are shorter by 11% between the respective 'Invisalign' groups and by 14% between the respective 'braces' groups. This may be explained by the prior surgical osteotomies, which facilitate the subsequent orthodontic finishing phase similarly to the phenomenon seen with corticotomies and surgery-first OT where dental movements are accelerated and become more predictable and precise. Zingler *et al.*, who studied and summarized the prior knowledge on the biochemical aspect of osteotomies in surgery-first OT, concluded that dental movements are accelerated during the subsequent OT by pro-inflammatory cytokines (IL-1 $\beta$  and IL-6) associated with early inflammation after bone injury, proteolytic enzymes (MMP-2) involved in both early resorptive and later remodelling events, angiogenic

factors known to be elevated early after bone injury (VEGF), and the later secretion of TGF- $\beta$  1-3 that inhibits osteoclastogenesis and bone formation by osteoblastic activity induction (47).

The total treatment length seems to be shorter with Invisalign than with braces based on the studies of pure OT, as well as the current study of combined OT + OS of severe malocclusion cases (Table 5). The RCT was an exception and was not comprised in this comparative table on account of its failure to report a statistical comparison despite having found a longer mean treatment duration in its Invisalign group (31.5 months) than its braces counterpart (22.0 months) (30). At any rate, the latter study comprised exclusively extraction cases, in which the unpropitious tipping potentially generated by mesial molar distalisation is known to be more difficult to correct by CAT than by fixed appliances (22,49).

The total DI score at T0 correlated well with treatment length in both study groups (Figures 4 A and B), which is not surprising given the relatively high complexity of the included malocclusion cases. Correlations between DI (Angle's class of malocclusion) versus treatment length have been previously found in pure OT studies, but only with conventional fixed appliances (50,51). Contrarily, the DI score had no influence on the total C-R Eval score in either group in our study. The total DI scores were high because of a significant T0 antero-posterior skeletal displacement, which was subsequently corrected by surgery resulting in a major C-R Eval score decrease in both groups. Thus, a relatively even distribution of total DI scores at T0 resulted in a vast majority of total C-R Eval scores situated in a relatively narrow band (between 20 and 30) at Tf regardless of OT method (Figures 4 C and D), probably because the bulk of the correction was borne by OS and not by OT. Previous findings on the correlation between the total DI and C-R Eval scores exist in the literature but only in studies of fixed orthodontic appliances and their results are contradictory: two recent series found no significant correlation between total DI and total C-R Eval scores (52,53), whereas two older studies revealed a weak correlation between the two scores (54,55).

The 83% rate of satisfactory total C-R Eval scores (< 30) obtained by combined 'Invisalign' + OS treatment connotes that, when this technique is mastered well, the success rate is similar to that obtained with conventional braces (i.e., 90% of control patients obtained a total OGMS score < 30), with the additional benefit of aesthetics (8), comfort (9,10,14), and oral hygiene (12), let alone the significantly shorter treatment length demonstrated in the present study. Incidentally, a total C-R Eval score of 30 or higher does not necessarily imply treatment failure but simply that the ABO standards have not been met.

Certain tooth movements are more difficult to achieve with Invisalign® than others, therefore, the literature mentions the need to resort to overcorrections during planning in CleanCheck® (Invisalign®'s 3D virtual animation software created by Align Technologies) in order to obtain the desired results (56-58). Thus, Invisalign®'s suboptimal predictability may become commensurate with traditional OT.

#### *Strengths and limitations*

This study is the first interventional comparative cohort study of patients with maxillomandibular discrepancy who had undergone OS combined with Invisalign versus traditional OT + OS, where the therapeutic effectiveness was quantitatively assessed by means of the standardized and reproducible C-R Evaluation of the ABO. All subjects in the CAT study group were treated with the 3<sup>rd</sup> generation Invisalign®, including the SmartTrack® aligner material and the optimized attachments and other SmartForce® paraphernalia. The other strength of the present study dwells in the comparative design, especially the very high similarity of the two study groups at T0 in terms of age as well as the distributions of gender, Angle classes of malocclusion, and total DI scores.

The limitations of the study are those inherent to retrospective cohort study designs, i.e., the intrinsic non-random selection of patients originating from the records of four different orthodontists. Nonetheless, the shortcomings of selection bias were mitigated by adherence to a unique orthodontic-surgical protocol in all of the 23 patients of the CAT study group (regardless of orthodontist) and that the OS was carried out by the same surgeon in all 46 study participants. Another source of potential bias stemmed from the four orthodontists being specialized in CAT by Invisalign® and a consequent disproportionately higher patient base undergoing CAT in their practices, along with their mastery of this technique, purportedly above that of the average orthodontist. Thus, if the same study were to be repeated with the same number of patients originating from the practices of the same number of orthodontists with a more balanced experience in both CAT and conventional OT, a statistical significance favouring the latter might have emerged. Lastly, the study raw data (DI and MGS individual parameters and total scores) originated from a single examiner, yet given the previously proven high intra-examiner reliability and inter-examiner reproducibility of both DI and MGS measurements (39), a single examiner was deemed sufficient. Furthermore, the total DI and C-R Eval

scores obtained by a second examiner were compared against those of the main examiner and the results corroborated the previously demonstrated high inter-examiner agreement (Tables 2 and 4).

### Conclusion

CAT is becoming an effective orthodontic solution to be considered on an equal footing with traditional braces when needed in combination with orthognathic surgery in the treatment of severe maxillomandibular discrepancy. The majority of orthodontic criteria have marked equivalent degrees of correction with the two orthodontic techniques, Invisalign® and braces, with the former's advantage of significantly shorter total combined treatment duration, compounded by superior aesthetics, comfort, and oral cavity hygiene.

### References

1. Remensnyder, O. (1926) A gum-massaging appliance in the treatment of pyorrhea. *Dental Cosmos*, 28, 381-384.
2. Kesling, H.D. (1945) The philosophy of the tooth positioning appliance. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery*, 31, 297-304.
3. Nahoum, H.I. (1964) The vacuum formed dental contour appliance. *New York State Dental Journal*, 9, 385-390.
4. Ponitz, R.J. (1971) Invisible retainers. *American Journal of Orthodontics*, 59(3), 266-272.
5. McNamara, J.A., Kramer, K.L. and Juenker, J.P. (1985) Invisible retainers. *Journal of Clinical Orthodontics*, 19(8), 570-578.
6. Sheridan, J.J., LeDoux, W. and McMinn, R. (1993) Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. *Journal of Clinical Orthodontics*, 27(1), 37-45.
7. Keim, R.G. (2017) The evolution of Invisalign. *Journal of Clinical Orthodontics*, 51(2), 69-70.
8. Jeremiah, H.G., Bister, D. and Newton, J.T. (2011) Social perceptions of adults wearing orthodontic appliances: a cross-sectional study. *European Journal of Orthodontics*, 33(5), 476-482.
9. Nedwed, V. and Miethke, R.R. (2005) Motivation, acceptance and problems of Invisalign patients. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 66(2), 162-173.
10. White, D.W., Julien, K.C., Jacob, H., Campbell, P.M. and Buschang, P.H. (2017) Discomfort associated with Invisalign and traditional brackets: A randomized, prospective trial. *Angle Orthodontist*, 87(6), 801-808.
11. Miller, K.B., McGorray, S.P., Womack, R., Quintero, J.C., Perelmuter, M., Gibson, J., Dolan, T.A. and Wheeler, T.T. (2007) A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 131(3), 302.e1-9.
12. Lu, H., Tang, H., Zhou, T. and Kang, N. (2018) Assessment of the periodontal health status in patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances and Invisalign system: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 97(13), e0248.
13. Karkhanechi, M., Chow, D., Sipkin, J., Sherman, D., Boylan, R.J., Norman, R.G., Craig, R.G. and Cisneros, G.J. (2013) Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy. *Angle Orthodontist*, 83(1), 146-151.

14. Azaripour, A., Weusmann, J., Mahmoodi, B., Peppas, D., Gerhold-Ay, A., Van Noorden, C.J. and Willershausen B. (2015) Braces versus Invisalign®: gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study. *BMC Oral Health*, 15:69.
15. Zheng, M., Liu, R., Ni, Z. and Yu, Z. (2017) Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research*.20(3), 127-133.
16. McKenna, S. (2001) Invisalign: technology or mythology? *Journal of the Massachusetts Dental Society*, 50(2), 8-9.
17. Lagravère, M.O. and Flores-Mir, C. (2005) The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners: a systematic review. *Journal of the American Dental Association*, 136(12), 1724-1729.
18. Khosravi, R., Cohanim, B., Hujoel, P., Daher, S., Neal, M., Liu, W. and Huang, G. (2017) Management of overbite with the Invisalign appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 151[4], 691-699.e2.
19. Giancotti, A., Mampieri, G. and Greco, M. (2008) Correction of deep bite in adults using the Invisalign system. *Journal of Clinical Orthodontics*, 42(12), 719-726; quiz 728.
20. Giancotti, A., Garino, F. and Mampieri, G. (2017) Use of clear aligners in open bite cases: an unexpected treatment option. *Journal of Orthodontics*, 44(2), 114-125.
21. Joffe, L. (2003) Invisalign: early experiences. *Journal of Orthodontics*, 30(4), 348-352.
22. Phan, X. and Ling, P.H. (2007) Clinical limitations of Invisalign. *Journal of the Canadian Dental Association*, 73(3), 263-266.
23. Hennessy, J. and Al-Awadhi, E.A. (2016) Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. *Journal of Orthodontics*, 2016, 43(1), 68-76.
24. Keim, R.G. (2012): The Editor's Corner: Game changers in orthodontics. *Journal of Clinical Orthodontics*, 46, 257-258.
25. Weir, T. (2017) Clear aligners in orthodontic treatment. *Australian Dental Journal*, 62 Suppl 1, 58-62.
26. Gu, J, Tang, J.S., Skulski, B., Fields, H.W. Jr., Beck, F.M., Firestone, A.R., Kim, D.G. and Deguchi, T. (2017) Evaluation of Invisalign treatment effectiveness and efficiency compared with conventional fixed appliances using the Peer Assessment Rating index. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 151(2), 259-266.
27. Djeu, G., Shelton, C. and Maganzini, A. (2005) Outcome assessment of Invisalign and traditional orthodontic treatment compared with the American Board of Orthodontics objective grading system. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 128(3), 292-298, discussion 298.
28. Kuncio, D., Maganzini, A., Shelton, C. and Freeman, K. (2007) Invisalign and traditional orthodontic treatment postretention outcomes compared using the American Board of Orthodontics objective grading system. *Angle Orthodontist*, 77(5), 864-869.
29. Kassas, W., Al-Jewair, T., Preston, C.B. and Tabbaa, S. (2013) Assessment of Invisalign treatment outcomes using the ABO Model Grading System. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, 2, e61-e64.
30. Li, W., Wang, S. and Zhang, Y. (2015) The effectiveness of the Invisalign appliance in extraction cases using the ABO model grading system: a multicenter randomized controlled trial. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 8(5), 8276-8282. eCollection 2015.
31. Greco, P.M., English, J.D., Briss, B.S., Jamieson, S.A., Kastrop, M.C., Castelein, P.T., DeLeon, E. Jr., Dugoni, S.A. and Chung, C.H. (2010) Posttreatment tooth movement: for better or for worse. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 138(5), 552-8.

32. Boyd, R.L. (2005) Surgical-orthodontic treatment of two skeletal Class III patients with Invisalign and fixed appliances. *Journal of Clinical Orthodontics*, 39(4), 245-258.
33. Marcuzzi, E., Galassini, G., Procopio, O., Castaldo, A. and Contardo, L. (2010) Surgical-Invisalign treatment of a patient with Class III malocclusion and multiple missing teeth. *Journal of Clinical Orthodontics*, 44(6), 377-384.
34. Pagani, R., Signorino, F., Poli, P.P., Manzini, P. and Panisi, I. (2016) The use of Invisalign® system in the management of the orthodontic treatment before and after Class III surgical approach. *Case Reports in Dentistry*, 2016:9231219.
35. Womack, W.R. and Day, R.H. (2008) Surgical-orthodontic treatment using the Invisalign system. *Journal of Clinical Orthodontics*, 42(4), 237-245.
36. Daouri, A., Asselborn, M., Majoufre, C., Nimeskern, N. and Gleizal, A. (2018) Orthognathic surgery and Invisalign®: A proposed complete orthodontics and maxillofacial surgery protocol, practical tips, and literature review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, in press.
37. Hollande, F., Touraine, M. and Urvoas, J.J. (2016) [Ordinance n° 2016-800 of 16-Jun-2016 relative to research involving humans]. NOR: AFSP1608692R. *Journal Officiel de la République Française*, Text 19 of 147. Available online: [https://www.legifrance.gouv.fr/jo\\_pdf.do?id=JORFTEXT000032719520](https://www.legifrance.gouv.fr/jo_pdf.do?id=JORFTEXT000032719520), accessed 11-Sep-2018.
38. The ABO Discrepancy Index (DI) A Measure of Case Complexity. ABO American Board of Orthodontics, updated 01-Apr-2016, available online: [https://www.americanboardortho.com/media/1189/discrepancy\\_index\\_scoring\\_system.pdf](https://www.americanboardortho.com/media/1189/discrepancy_index_scoring_system.pdf), accessed 05-Sep-2018.
39. Lieber, W.S., Carlson, S.K., Baumrind, S. and Poulton, D.R. (2003) Clinical use of the ABO- scoring index: Reliability and subtraction frequency. *Angle Orthodontist*, 73, 556- 564.
40. The ABO Calibration Kit, updated April 24, 2013, available online: <http://www.bbo.org.br/files/bibliografia/artigos/90-CALIBRATION-KIT.pdf>, accessed 05-Sep-2018.
41. The American Board of Orthodontics (2012) Grading System for Dental Casts and Panoramic Radiographs, revised June 2012. Available online: <https://www.americanboardortho.com/media/1191/grading-system-casts-radiographs.pdf>, accessed 11-Sep-2018.
42. Ferguson, D.J., Nazarov, A.D., Makki, L., Wilcko, M.T. and Wilcko, W.M. (2016) Posttreatment and retention outcomes with and without periodontally accelerated osteogenic orthodontics assessed using ABO objective grading system. *APOS Trends in Orthodontics*, 6, 194-199.
43. Taub, D.I. and Palermo, V. (2017) Orthognathic surgery for the Invisalign patient. *Seminars in Orthodontics*, 23(1), 99-102.
44. Kankam, H.K.N., Gupta, H., Sawh-Martinez, R. and Steinbacher, D.M. (2018) Segmental multiple-jaw surgery without orthodontia: Clear aligners alone. *Plastic And Reconstructive Surgery*, 142(1),:181-184.
45. Invisalign. SmartForce features and attachments. Available online: [https://s3.amazonaws.com/learn-invisalign/docs/SmartForce%20Features%20and%20Attachments\\_en-gb-en.pdf](https://s3.amazonaws.com/learn-invisalign/docs/SmartForce%20Features%20and%20Attachments_en-gb-en.pdf). Accessed on 17-Sep-2018.
46. Lombardo, L., Arreghini, A., Maccarrone, R., Bianchi, A., Scalia, S. and Siciliani G (2015) Optical properties of orthodontic aligners – spectrophotometry analysis of three types before and after aging. *Progress in Orthodontics*, 16:41.
47. Zingler, S., Hakim, E., Finke, D., Brunner, M., Saure, D., Hoffmann, J., Lux, C.J., Erber, R. and Seeberger, R. (2017) Surgery-first approach in orthognathic surgery: Psychological and biological aspects – A prospective cohort study. *Journal of Craniomaxillofacial Surgery*, 45(8), 1293-1301.

48. Buschang, P.H., Shaw, S.G., Ross, M., Crosby, D. and Campbell, P.M. (2014) Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces. *Angle Orthodontist*, 84(3), 391-396.
49. Bollen, A-M., Huang, G., King, G., Hujoel, P. and Ma, T. (2003) Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 1: Ability to complete treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 124(5), 496-501.
50. Parrish, L.D., Roberts, W.E., Maupome, G., Stewart, K.T., Bandy, R.W. and Kula, K.S. (2011) The relationship between the ABO discrepancy index and treatment duration in a graduate orthodontic clinic. *Angle Orthodontist*, 81(2), 192-197.
51. Aljehani, D. and Baeshen, H.A. (2018) Effectiveness of the American Board of Orthodontics Discrepancy Index in predicting treatment time. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 19(6), 647-650.
52. Cansunar, H.A. and Uysal, T. (2014) Relationship between pretreatment case complexity and orthodontic clinical outcomes determined by the American Board of Orthodontics criteria. *Angle Orthodontist*, 84(6), 974-979.
53. Cameron, D. (2010) The relationship between American Board of Orthodontics pretreatment dental cast Discrepancy Index scores and posttreatment dental cast Objective Grading System scores [master's thesis]. Faculty of the Graduate School of Saint Louis University.
54. Pulfer, R.M., Drake, C.T., Maupome, G., Eckert, G.J. and Roberts, W.E. (2009) The association of malocclusion complexity and orthodontic treatment outcomes. *Angle Orthodontist*, 79(3), 468-472.
55. Campbell, C.L., Roberts, W.E., Hartsfield, J.K. Jr. and Qi, R. (2007) Treatment outcomes in a graduate orthodontic clinic for cases defined by the American Board of Orthodontics malocclusion categories. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 132(6), 822-9.
56. Grünheid, T., Loh, C. and Larson, B.E. (2017) How accurate is Invisalign in nonextraction cases? Are predicted tooth positions achieved? *Angle Orthodontist*, 87(6), 809-815
57. Houle, J.P., Piedade, L., Todescan, R. Jr. and Pinheiro, F.H. (2017) The predictability of transverse changes with Invisalign. *Angle Orthodontist*, 87(1), 19-24.
58. Simon, M., Keilig, L., Schwarze, J., Jung, B.A. and Bourauel, C. (2014) Treatment outcome and efficacy of an aligner technique – regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health*, 14:68.



**Figure legends:**

**Figure 1.** Discrepancy Index (DI) worksheet of the American Board of Orthodontics.

**Figure 2.** The measuring gauge of the American Board of Orthodontics. **A.** This portion of the gauge is in 1 mm increments and is used to measure discrepancies in alignment, overjet, occlusal contact, interproximal contact, and occlusal relationships. The width of the gauge is 0.5 mm. **B.** This portion of the gauge has steps measuring 1 mm in height and is used to determine discrepancies in mandibular posterior buccolingual inclination. **C.** This portion of the gauge has steps measuring 1 mm in height and is used to determine discrepancies in marginal ridges. **D.** This portion of the gauge has steps measuring 1 mm in height and is used to determine discrepancies in maxillary posterior buccolingual inclination.

**Figure 3.** The Cast-Radiograph Evaluation worksheet of the American Board of Orthodontics.

**Figure 4.** Total treatment length and individual MGS criteria with statistically significant differences between the two study groups. **A.** Total treatment score (in months) in the two study groups. **B.** Total alignment score. **C.** Buccolingual inclination score. **D.** Occlusal contacts score. **E.** Interproximal contacts score. **F.** Root angulation score. Statistics and symbols: **A to D:** t-test (Normal distribution accepted); open circles – individual data; solid orange squares – arithmetic means; error bars – 1 standard deviation. **E and F:** Mann-Whitney U test (Normal distribution rejected); open circles – individual data; solid orange squares – medians; boxes – interquartile ranges (IQR) between the 25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> percentiles; upper and lower fences – 1.5 x IQR above the 75<sup>th</sup> and below the 25<sup>th</sup> percentiles, respectively (Tukey boxplot).

**Figure 5.** Rank correlation scatter diagrams and trend lines with 90% LOESS smoothing span: **A.** between DI score at T0 and total treatment duration (months) in group A ('Invisalign'); Spearman's rho 0.922,  $P < 0.0001$ ; Kendall's tau 0.807,  $P < 0.0001$ . **B.** between DI score at T0 and total treatment duration (months) in group B ('braces'); Spearman's rho 0.815,  $P < 0.0001$ ; Kendall's tau 0.660,  $P < 0.0001$ . **C.** between DI score at T0 and total C-R Eval score at end of treatment (Tf) in group A; Spearman's rho -0.0532,  $P = 0.8094$ ; Kendall's tau -0.0535,  $P = 0.7002$ . **D.** between total DI score at T0 and total C-R Eval score at Tf in group B; Spearman's rho 0.044,  $P = 0.8418$ ; Kendall's tau 0.0168,  $P = 0.9331$ .

EXAM YEAR \_\_\_\_\_

**ABO DISCREPANCY INDEX**

ABO ID # \_\_\_\_\_

CASE# \_\_\_\_\_

PATIENT \_\_\_\_\_

**TOTAL D.I. SCORE**

*For mm measures, round up to the next full mm.  
Examiners will verify measurements in each category.*

**OVERJET**

- ≥ 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

**OVERBITE**

- > 1 to ≤ 3 mm = 0 pts
- > 3 to ≤ 5 mm = 2 pts
- > 5 to ≤ 7 mm = 3 pts
- Impinging (100%) = 5 pts

Total

**ANTERIOR OPEN BITE**

0 mm (edge-to-edge), 1 pt per tooth = \_\_\_ pts  
then 1 pt per mm per tooth = \_\_\_ pts

Total

**LATERAL OPEN BITE**

≥ 0.5 mm, 2 pts per mm per tooth

Total

**CROWDING** (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

**OCCUSAL RELATIONSHIP**

- 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

**LINGUAL POSTERIOR X-BITE**

> 0 mm, 1 pt per tooth Total

**BUCCAL POSTERIOR X-BITE**

> 0 mm, 2 pts per tooth Total

**CEPHALOMETRICS** (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

**OTHER** (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 = \_\_\_

Adtl. treatment complexities \_\_\_ x 2 pts = \_\_\_

Identify:

Total Other

30130315

Fig. 1

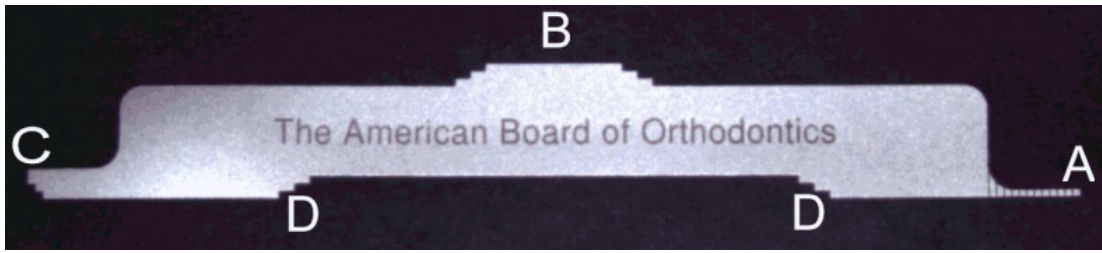


Fig. 2

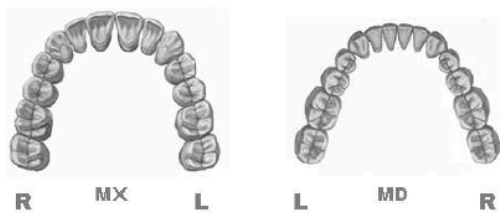
4-12-2010 for print use only.  
 For electronic submission requirement –  
 use ABO Case Report Work File (pdf).

### ABO Cast-Radiograph Evaluation

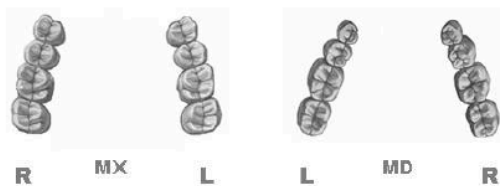
Case #  Patient

Total C-R Eval Score:

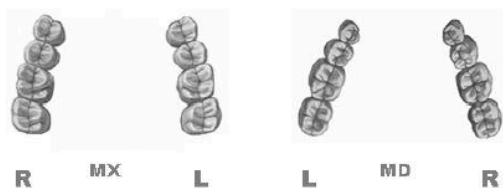
#### Alignment/Rotations



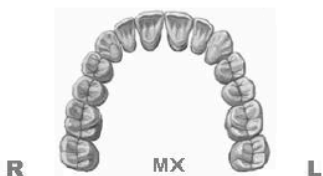
#### Marginal Ridges



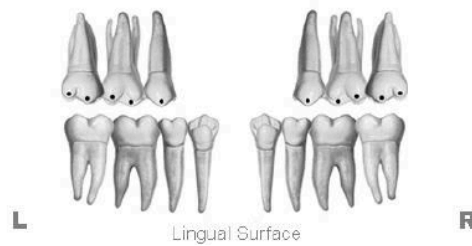
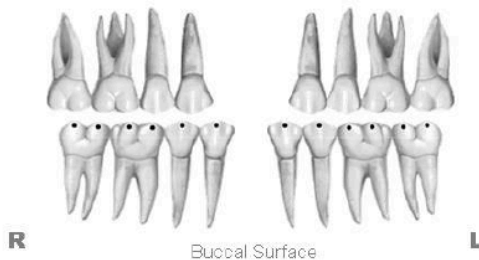
#### Buccolingual Inclination



#### Overjet



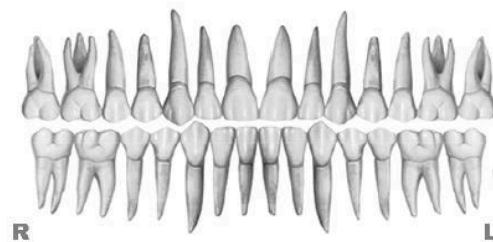
#### Occlusal Contacts



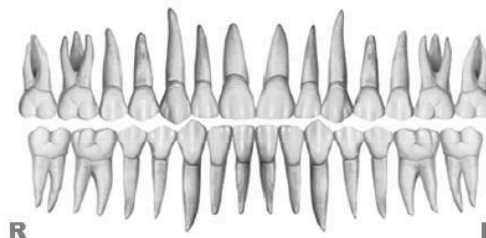
#### Occlusal Relationships



#### Interproximal Contacts



#### 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.

Fig. 3

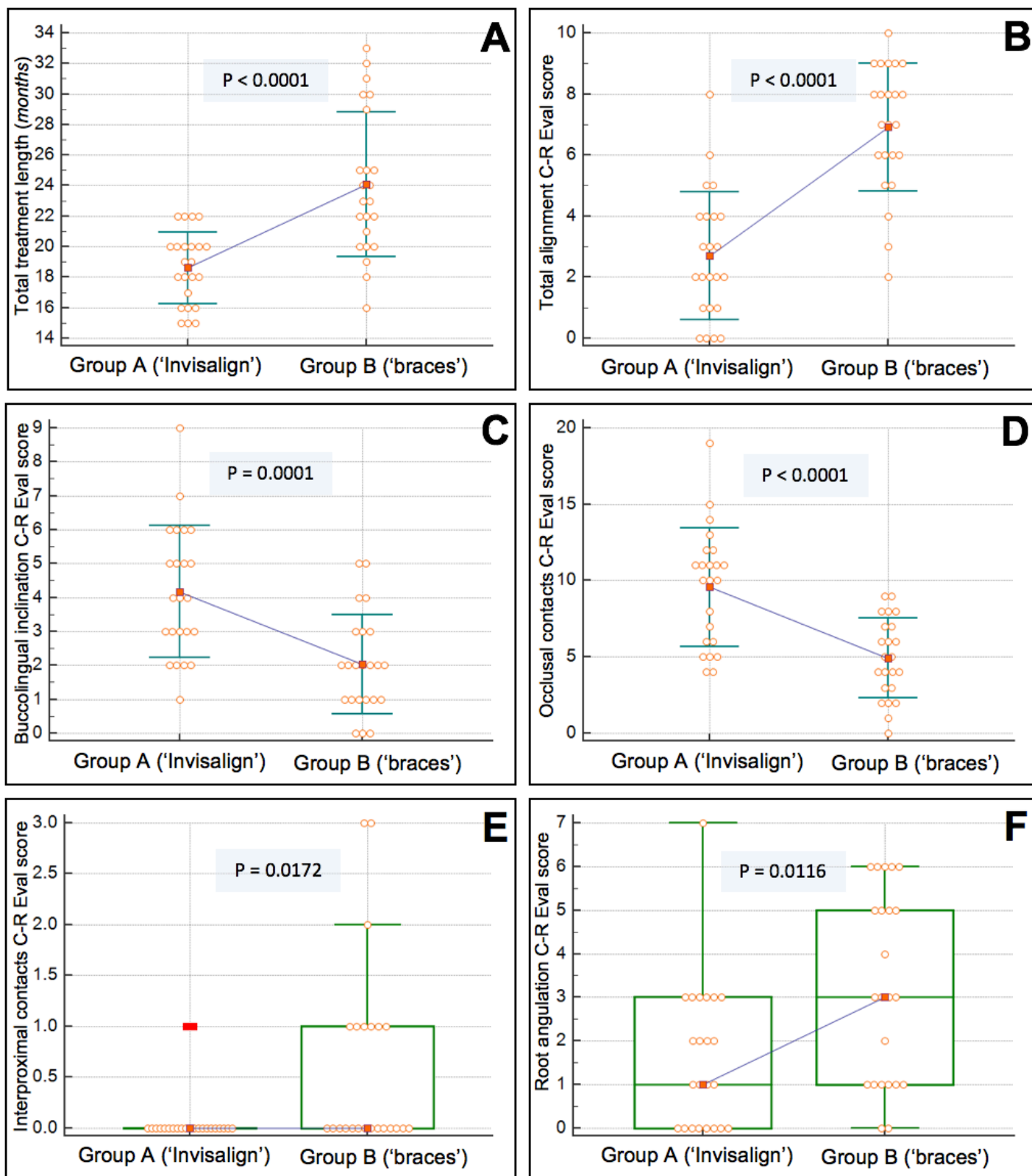


Fig. 4

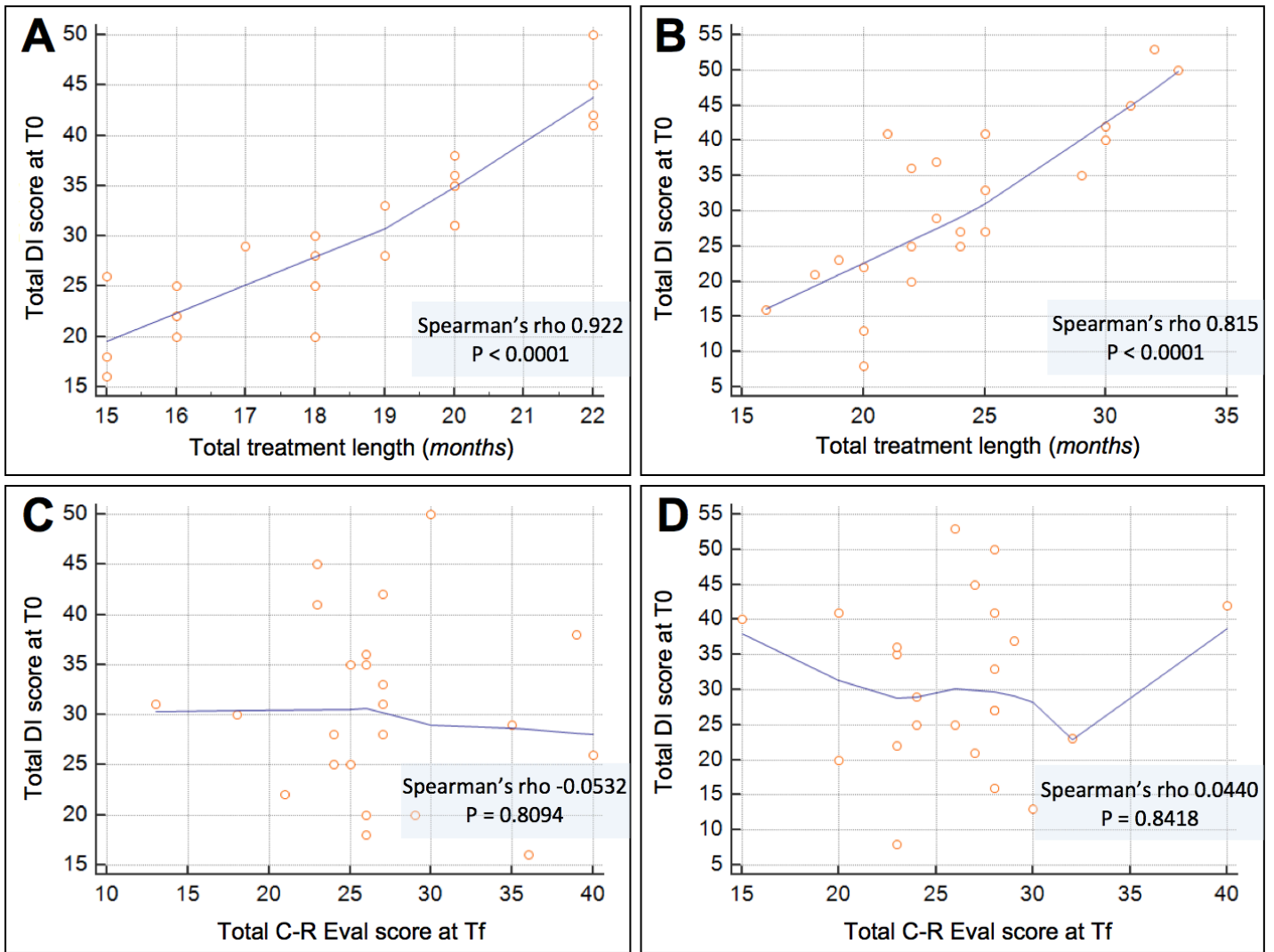


Fig. 5

## 9. Serment d'Hippocrate

*« Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.*

*Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.*

*Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.*

*J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.*

*Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.*

*Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me le demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.*

*Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.*

*Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.*

*Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.*

*J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.*

*Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque. »*





## **Préparation orthodontique par Clear Aligner Therapy en chirurgie orthognathique : Protocole, applications cliniques et stabilité à 1 an.**

### **Résumé :**

La prévalence des malocclusions dans le monde est très importante. 4% de la population est atteinte d'une malocclusion sévère et 2% d'une réelle dysmorphose dento-maxillaire requérant une chirurgie orthognathique associée.

Dans l'histoire de l'orthodontie, on note un réel effort pour progresser dans le domaine esthétique par rapport à ces appareils multiattaches inesthétiques. Les patients sont de plus en plus demandeurs de solutions orthodontiques discrètes au même titre que le confort et l'absence de douleurs. Les appareils multiattaches se sont donc modifiés pour voir apparaître les appareils labiaux céramiques puis les appareils linguaux et enfin les aligneurs dans le cadre de la Clear Aligner Therapy (CAT).

La problématique de ces nouvelles solutions orthodontiques se pose lorsqu'on veut traiter des dysmorphoses dento-squelettiques avec à terme une chirurgie orthognathique.

- Comment réaliser le blocage maxillo-mandibulaire peropératoire avec du lingual ou avec une Clear Aligner Therapy (CAT) ?
- Peut-on obtenir des décompensations satisfaisantes avec ces techniques en vue de la chirurgie ?
- Est-ce que ces solutions permettent d'obtenir des résultats aussi efficaces et aussi stables qu'avec du multiattaches classiques ?

La littérature détient déjà de nombreuses études en ce qui concerne le lingual qui a fait son apparition dans les années 80. En revanche ces questions restent toujours en suspens quant à la Clear Aligner Therapy qui a fait son apparition dans les années 2000, où il n'existe à ce jour que des case-report suggérant qu'il est possible de traiter ces dysmorphoses dento-squelettiques par un traitement combinant CAT et chirurgie orthognathique.

Par contre, aucun protocole détaillé n'a été décrit, aucune série n'a été publiée à ce jour concernant l'efficacité de la CAT dans un contexte chirurgical ni une étude concernant la stabilité des bases osseuses à 1 an de la chirurgie. Tout ceci freine les orthodontistes et chirurgiens à l'utilisation de ce traitement combiné.

Nous avons donc tenté dans cet ouvrage de répondre à toutes ces questions au travers de 2 articles scientifiques.

### **Mots-clés :**

Chirurgie orthognathique / Invisalign® / Aligneurs transparents amovibles / Clear Aligner Therapy / Orthodontie / Efficacité / Model Grading System / American Board of Orthodontics (ABO) / Protocole orthodontico-chirurgical