



HAL
open science

Thérapeutique par aligneurs et gestion de la supraclusion : revue systématique

Corentin Ecalle

► **To cite this version:**

Corentin Ecalle. Thérapeutique par aligneurs et gestion de la supraclusion : revue systématique. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03201685

HAL Id: dumas-03201685

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03201685>

Submitted on 19 Apr 2021

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

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

Université de Bordeaux
Collège des Sciences de la Santé
UFR des Sciences Odontologiques

Année 2020

N°10

Thèse pour l'obtention du
DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par ECALLE Corentin
Né le 26 février 1995 à Saint d'Angély (Charente-Maritime)

Le 21 février 2020

**Thérapeutique par aligneurs et gestion de la supraclusion :
revue systématique**

Directeur de thèse :

Docteur de BRONDEAU François

Membres du Jury :

Président	Mlle MJ. BOILEAU	Professeur des Universités
Directeur	M. F. de BRONDEAU	Maître de Conférences des Universités
Rapporteur	M E. BARDINET	Maître de Conférences des Universités
Assesseur	M A. LAFITTE	Assistant Hospitalo-Universitaire
Invité	M. M. MAKAREMI	Spécialiste qualifié en ODF

UNIVERSITE DE BORDEAUX

MAJ
02/12/2019

Président M. TUNON DE LARA Manuel
Directeur de Collège des Sciences de la Santé M. PELLEGRIN Jean-Luc

COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE DES SCIENCES ODONTOLOGIQUES

Directrice Mme BERTRAND Caroline 58-01
Directeur Adjoint à la Pédagogie Mr DELBOS Yves 56-01
Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche M. CATROS Sylvain 57-01
Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales M SEDARAT Cyril 57-01

ENSEIGNANTS DE L'UFR

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme Caroline	BERTRAND	Prothèse dentaire	58-01
Mme Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M Sylvain	CATROS	Chirurgie orale	57-01
M Raphaël	DEVILLARD	Odontologie restauratrice et endodontie	58-01
Mme Véronique	DUPUIS	Prothèse dentaire	58-01
M. Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques - Biomatériaux	58-01
M. Jean-Christophe	FRICAÏN	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme Elise	ARRIVÉ	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme Cécile	BADET	Sciences biologiques	57-01
M. Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Michel	BARTALA	Prothèse dentaire	58-01
M. Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Christophe	BOU	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme Sylvie	BRUNET	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01
M. Jacques	COLAT PARROS	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M, Jean-Christophe	COUTANT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M. François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M, Emmanuel	D'INCAU	Prothèse dentaire	58-01
Mme Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
M. Dominique	GILLET	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme Olivia	KEROUREDAN	Dentisterie restauratrice- Endodontie	58-01
M. Jean-François	LASSERRE	Prothèse dentaire	58-01
M. Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme Odile	LAVIOLE	Prothèse dentaire	58-01
M. Jean-Marie	MARTEAU	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01
Mme Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01
M. Adrien	NAVEAU	Prothèse dentaire	58-01
M. Jean-François	PELI	Odontologie restauratrice – Endodontie	58-01
M. Philippe	POISSON	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02

M.	Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Johan	SAMOT	Biologie Orale	57-01
Mme	Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mme	Noélie	THEBAUD	Sciences biologiques	57-01
M.	Éric	VACHEY	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01

AUTRES ENSEIGNANTS

Mme	Audrey	AUSSEL	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M.	Cédric	FALLA	Prévention épidémiologique – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M	François	ROUZE L'ALZIT	Prothèse dentaire	58-01

ASSISTANTS

Mr	Bastien	BERCAULT	Chirurgie Orale	57-01
Mme	Mathilde	BOUDEAU	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Wallid	BOUJEMAA AZZI	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Camille	BOULÉ MONTPEZAT	Odontologie pédiatrique	56-01
Mme	Anaïs	CAVARE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Hubert	CHAUVEAU	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Virginie	CHUY	Prévention épidémiologique – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	Pierre-Hadrien	DECAUP	Fonctions/dysfonctions, imagerie, biomatériaux	58-01
Mme	Séverine	DESCAZEAX	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Julia	ESTIVALS	Odontologie pédiatrique	56-01
Mme	Mathilde	FENELON	Chirurgie Orale	57-01
Mme	Agathe	GREMARE	Biologie orale	57-01
M.	Louis	HUAULT	Fonctions/dysfonctions, imagerie, biomatériaux	58-01
Mme	Clémence	JAECK	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Mathilde	JACQUEMONT	Parodontologie	57-01
Mme	Claudine	KHOURY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme.	Camille	LACAULE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Antoine	LAFITTE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Adrien	LASTRADE	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Aude	MENARD	Prothèse dentaire	58-01
M.	Antoine	POPELUT	Parodontologie	57-01
M	Florian	PITEU	Prothèse dentaire	58-01
Mr	Thibaut	ROULLAND	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Rawen	SMIRANI	Parodontologie	57-01
Mr	Clément	VACHEY	Odontologie conservatrice- Endodontie	58-01
Mr	Paul	VITIELLO	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Sophia	ZIANE	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01

Remerciements

A notre Présidente de thèse

Mademoiselle le Professeur Marie-José BOILEAU
Professeur des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section Orthopédie Dento-Faciale 56-01

*A vous qui nous faites l'honneur de présider ce jury,
Je vous remercie pour votre gentillesse, votre implication quotidienne dans notre formation et l'énergie
que vous mettez dans la défense de notre spécialité.
Veuillez recevoir mes plus respectueux remerciements.*

A notre Directeur de thèse

Monsieur le Docteur François de Brondeau
Maître de Conférence des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section Orthopédie-Dento-Faciale 56-01

*Je souhaite vous témoigner tout l'honneur que vous me faites de diriger cette thèse,
Pour vos qualités humaines d'écoute et de compréhension,
Pour votre organisation exemplaire et votre rigueur dans le maintien d'un service hospitalier de qualité,
Veuillez trouver ici l'expression de mes remerciements les plus sincères.*

A notre Rapporteur de thèse

Monsieur le Docteur Etienne BARDINET
Maître de Conférence des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section Orthopédie-Dento-Faciale 56-01

*Je vous remercie de me faire l'honneur de votre présence pour juger mon travail,
Pour l'attention que vous avez bien voulu y prêter,
Pour votre expertise et vos précieux conseils cliniques, et la bonne ambiance qui réside au PQR tous
les vendredis,
Je tiens par ces mots à vous témoigner ma sincère gratitude.*

A notre Assesseur

Monsieur le Docteur Antoine LAFITTE
Assistant hospitalo-universitaire
Sous-section Orthopédie-Dento-Faciale 56-01

*Pour l'assistant en or que tu es, bienveillant, toujours disponible et motivé,
Pour l'ami « BG » que tu es également, toujours à l'écoute et de bons conseils,
Je te remercie de me faire l'honneur de ta présence pour juger mon travail,*

A notre Invité

Monsieur le Docteur Masrour MAKAREMI

Docteur en Chirurgie Dentaire Spécialiste en Orthopédie-Dento-Faciale

*Pour ton implication dans la rédaction de ce travail, tes recommandations pertinentes,
Tes connaissances et ton expertise concernant l'orthodontie de demain,
Ton ouverture d'esprit et ta bonne humeur,*

Je te remercie d'avoir accepté mon invitation.

A ma famille

A **mes parents**, pour votre amour inconditionnel, votre soutien indéfectible, Pour m'avoir vu grandir et avoir fait tout ce qu'il était nécessaire de faire pour qu'aujourd'hui je sois ce que je suis,

Maman, merci pour ton énergie, ta détermination et ton courage qui sont des qualités exemplaires. Pour m'avoir sorti de dessous le lit pour aller à mon premier entraînement de hand. Papa, merci pour les valeurs et l'éducation que tu m'as fournies. Maman c'était le français, toi c'était les maths, l'esprit de la gagne, je n'ose pas compter les heures que tu as passé en tant que supporter n°1 de SHSJ et des sélections.

A **mon frère Alexandre**, tu as toujours été l'exemple à suivre. Protecteur, généreux et toujours bienveillant, tu as contribué en grande partie à ma réussite.

Pour l'humoriste né que tu es, tes copies de Mr Augris bien utiles au lycée, les records à Mario Kart® difficiles à battre il faut l'admettre, je te remercie également.

A **mes grands-parents**, avec qui j'ai passé de merveilleux moments durant mon enfance, pendant les vacances d'été et la période des fêtes, et qu'aujourd'hui je ne vois plus assez souvent. A ces réunions de famille mémorables, dans un air de Riquita.

A **mon oncle, ma tante, Hugo et Margaux mes cousins**, pour ces week-ends en famille ressourçant mais trop peu fréquents, ces belotes et jeux de société en famille, ces foots dans votre jardin.

A **mon arrière-grand-mère**, pleine d'amour à notre égard, qui a immortalisé il y a peu la rencontre avec son arrière-arrière-petite-fille, prochain objectif pour toi : 100 bougies sur le gâteau !

A **Claire, ma belle-sœur**, tu fais une très bonne et prévenante maman à présent, tu transmettras les bonnes valeurs à la progéniture j'en suis certain. Ton énergie et ta simplicité, j'adore. Tes talents en pâtisserie aussi.

A **Ariane, ma nièce (et ma filleule)**, j'espère pouvoir t'épauler dans les moments futurs de ce monde dans lequel tu grandis à vitesse grand V. Doucement sur le pouce et la tétine, sinon je te pose un éducateur fonctionnel ! A bientôt sur les skis.

A **mes cousins les BBG, Juliette, Guillaume, Robin, Anthony et Antoine**, rencontrés il y a quelques années sur l'île d'Oléron, vous êtes à présent des amis avec qui je ne compte plus les bons moments passés l'été, aux Boulass, au port du Douhet, et à tous ces moments à venir que nous partagerons ensemble.

A mes amis,

A Mathilde, sans toi ce travail aurait été bien plus laborieux à achever. Elle est belle ton île il faut l'avouer, à ton image en fait. Tes valeurs, tout comme ton organisation, sont sans faille. Ton goût pour le voyage est contagieux, tout comme ta joie de vivre. Heureux de t'avoir fait troquer ton legging pour une robe de soirée, sur un « boum tam tam » endiablé. Merci pour tout.

A Alexis, aux 400 coups que nous avons faits ensemble. Un ami, un vrai, toujours dans les bons plans et de bons conseils, pendant un escape game mais aussi dans les moments plus délicats de mon internat. A ces séjours au ski, au Cap ferret, à ces soirées (et aux photos dossiers que tu garderas bien pour toi). A tout ce que nous vivrons encore ensemble petit pote. Au toucan.

A Marie, la maman de notre promo, amenant ses co-internes dans sa Suzuki V6 biturbo, championne du créneau sur le parking bondé du PQR, pour la 3^{ème} année consécutive. A ton rire unique, tes snaps, merci d'avoir supporté flat. A notre amitié, simple sans paillettes dans notre vie.

A Aurore, à ton doux accent aveyronnais, à ces soirées jus d'ananas. Ton organisation au quotidien est impressionnante, ta gentillesse à mon égard en est de même. Merci d'avoir toujours été là quand j'en avais besoin, il me tarde notre voyage promo. A notre rock noué. Aux chaussons du château Trompette.

A Adrien, un cointerne comme on les aime. Un fort caractère c'est vrai, mais simplement proportionnel à tes triceps. Je ne sais toujours pas combien vous êtes dans ton cerveau tellement ça va vite parfois. A notre amitié qui ne s'arrêtera pas dans dix mois. A ces soirées culturelles. A la fontaine d'eau du PQR. A Black M.

A Diane, une amie en or, à la dentiste que tu es devenue, à ta résolution de ne plus boire d'alcool, que tu ne tiendras pas à ma soutenance je l'espère. Au Weston. A la tribu de D(i)ana.

A Emilie, toujours de bon conseil, ton amour pour le sport, la raclette, la tartiflette, la fondue etc... Ta conscience professionnelle fait que je te laisserai la maintenance de ma denture les yeux fermés si j'en ai besoin.

A Hugh, mon meilleur ami anglo-saxon, tes boissons fraîches, tes vidéos de voyage cultes, ces victoires et rares défaites à FIFA, ces séances de sport à discuter de tout et de rien. A tes carences en ALDH2.

A Manon, fidèle amie du PQR à 19h30. Martinez, toujours prête pour monter au créneau s'il le faut, avec altruisme et poésie. Experte en canular et photo montage, ta bonne humeur nous sert d'ancrage au quotidien. A ces trajets en vélo sur ton porte-bagage. Au double fromage.

A Camille, et ton sourire à la Damon, ton côté nature fait du bien dans ce monde de plus en plus superficiel. Au taco naan, x2. A ce retour en tram de la soirée internat.

A Christelle, à ton goût du voyage, au couple goal que tu es avec Alexis, à ta joie de vivre. A l'énergie que tu mets pour avoir l'internat avec tes copines.

A Xavier, et ces bons moments passés ensemble, à ton style BCBG qui fait référence pour nous tes co-internes. A ton chausse-pied.

A Paul, tes talents d'orateur nettement au-dessus de la moyenne, qui font que nous n'avons pas mangé à la même heure à l'internat,

A Clément, cointerne fiable (surtout pour une bière) et dévoué, à ces staffs et ces soirées de qualité.

A Romain, chirurgien qui casse des mandibules, ta danse tahitienne étrange, aux fêtes de la Madeleine mémorables.

A Lucas, à ton amour inconditionnel du PSG et ta réussite à l'internat en terre bretonne,

A Sophie et ton acolyte Catherine, votre rire communicatif et identifiable à l'autre bout du couloir du 3^{ème}, et parce que l'on a une belle vie en dehors du PQR aussi.

A Edouard, mon meilleur ami d'enfance qui est resté au pays de Saintonge, on en a passé des heures à jouer à la Megadrive puis à la PlayStation, ou à jouer au foot sur le stadium de Saint Martin. A notre assiduité durant les cours de catéchisme. A tous ces mercredis après-midis passés ensemble.

A Robin, à ces vacances au ski (modulo tes petites blessures), au camping Les Prises, à nos soirées du Nouvel An, notre TPE réussi (qui pouvait s'apparenter à un hold up, le bec bunsen et Jamy étaient avec nous). Au surimi.

A la famille Croizet et Gadiou, à ces séjours dans les Alpes mémorables, de l'école de ski à un retour en motoneige dans la nuit parce qu'on s'est perdu, il n'y a qu'une piste. Et un rider.

A mes amis d'enfance, Loulou, Simon, Lauren, Alison, Paulo, Charles, que je ne vois plus assez souvent.

A mes partenaires de handball, à ces heures d'entraînement et de match, à ces victoires et ces défaites que l'on a vécu ensemble, à ce gymnase non chauffé, à ces roucoulettes légendaires.

A mes amis de l'externat, Pigo, Godin, François, Horion, Baptiste, Vincent, Lélia, Marthe, Oana, Adrien, Quentin, Aymeric, Frédou, César, Yvan, Victor, qui comptent toujours pour moi et qui m'ont fait passer des moments inoubliables. Mention spéciale Gabie, pour ton sérieux et ta capacité de travail qui ont participé à ma réussite en PACES et pour l'internat.

A mes autres anciens co-internes d'ODF, Juliette, Sarah, Myriam, Pénélope, Nathalie, Hélène, avec qui j'ai appris à jouer avec les pinces d'ortho et la pince à tie-back, entre deux réponses à des mails de patients exigeants un rendez-vous en urgence, après 3 PVPP.

Aux autres deuxièmes années pas encore cités, Luc le sportif d'un autre monde, Carlota « mariquita », Chloé la tahitienne du cabinet 6, Sung Eun et ce gala Invisalign très drôle.

A mes nouveaux co-internes d'ODF, Eva, Marie, Clara, Salomé, Cécile, à qui je souhaite un internat des plus enrichissant professionnellement et personnellement, à qui je ne peux conseiller qu'une entraide infailible. A notre futur commun de spécialiste qu'il faudra défendre à tout prix.

A Yann, ta joie de vivre et ta tchatte inégalable. A ce que tu vis avec Eva et feu son appareil lingual, à ta réussite en MBD qui fait de toi un dentiste « deutsche qualitat » à présent. A la valise à nanard.

A Pauline, à ta gentillesse, à ces soirées vin/fromage, à tes stories Instagram. Merci d'être l'amie que tu es. A basic fit et tes talents de sportive remarquables.

A Thibaud, à notre séjour au Sziget et à Vienne, et à nos voyages futurs, à la voie professionnelle que tu prendras qui sera la bonne j'en suis sûr. A Barbora (et Alexandra), à tes talents en break dance sur la place du Marché de la Brée. Au Memphis.

A Florent, qui a choisi d'être pompier de Paris, un des métiers des plus honorable, à ton amitié sans prise de tête, à ta chute de vélo mémorable, aux Ecluses.

A Quentin et Constance, à ce séjour en Martinique inoubliable, à vos talents d'apnéistes hors du commun qui imposent le respect, à ces kilos de poissons pêchés et dégustés ensemble.

A Camille, nouvelle assistante dynamique de notre service, merci d'avoir pris le temps de relire ma thèse et d'y apporter tes suggestions pertinentes, il me tarde de passer au mémoire ensemble.

A Anaïs, l'assistante du mercredi, ton dynamisme et ta rigueur au travail m'ont énormément apporté, à la nouvelle maman heureuse que tu es devenue, ton retour est pour bientôt dans notre service si j'ai bien compris !

Aux anciennes assistantes, Chloé, Clarisse, Marie qui nous ont transmis le maximum durant cet internat, à vos conseils qui me serviront quotidiennement pour ma vie professionnelle. Marie, merci pour ton investissement dans le développement du lingual au PQR, mais aussi les moments passés hors du cadre professionnel.

Aux chefs maxillo-faciaux du CFXM, plus que des collaborateurs, des amis avec qui les soirées symbioses sont épiques, à **Amine, à Charlie, à Adrien, à Elliot, à Pierre-Antoine**. Au XXI et à tous ces afterworks. Au gin to'.

A Mathieu, à la confiance que l'on peut avoir quand tu prends en charge nos patients, à ta spontanéité lorsqu'il s'agit de nous inviter pour t'assister au bloc, et ces soirées de formation.

A mes collègues du PQR, à Florence en particulier, ta gentillesse et ta rapidité d'action pour travailler dans les meilleures conditions m'ont parfois sauvé.

A mes autres enseignants d'ODF, qui souhaitent le meilleur pour leurs étudiants bordelais dont j'ai eu la chance de faire partie.

A toutes celles et ceux que je n'ai pas cité précédemment, dans un oubli impardonnable.

TABLES DES MATIERES

I. RESUME	9
II. INTRODUCTION	10
III. GENERALITES	11
1. LA SUPRACLUSION	11
a. <i>Examens cliniques et complémentaires.....</i>	<i>11</i>
b. <i>Les différentes formes cliniques.....</i>	<i>13</i>
c. <i>Etiologies</i>	<i>14</i>
d. <i>Conséquences et enjeux</i>	<i>16</i>
e. <i>Options thérapeutiques</i>	<i>17</i>
f. <i>Critères de décision</i>	<i>18</i>
2. ALIGNERS ET SUPRACLUSION : PRINCIPES BIOMECANIQUES	20
a. <i>Historique des aligners.....</i>	<i>20</i>
b. <i>Différents systèmes d'aligners</i>	<i>21</i>
c. <i>Biomécanique des aligners versus appareils multiattaches</i>	<i>23</i>
d. <i>Les différents mouvements impliqués dans la correction de la supraclusion.....</i>	<i>25</i>
IV. REVUE SYSTEMATIQUE.....	33
1. CONTEXTE DE L'ETUDE	33
2. OBJECTIFS DE L'ETUDE	34
3. MATERIELS ET METHODES.....	34
a. <i>Méthode de recherche des études</i>	<i>34</i>
b. <i>Critères d'inclusion</i>	<i>34</i>
c. <i>Critères d'exclusion.....</i>	<i>34</i>
d. <i>Stratégie et équation de recherche.....</i>	<i>35</i>
e. <i>Collecte des données.....</i>	<i>36</i>
f. <i>Evaluation de la qualité des études incluses.....</i>	<i>36</i>
4. RESULTATS.....	37
a. <i>Description des études</i>	<i>38</i>
b. <i>Systèmes étudiés.....</i>	<i>47</i>
c. <i>Evaluation de l'efficacité intrinsèque des aligners.....</i>	<i>47</i>
d. <i>Evaluation de l'efficience</i>	<i>48</i>
e. <i>Quantification de la prédictibilité.....</i>	<i>48</i>
f. <i>Forces et moments dans la zone antérieure : évaluation in vitro.....</i>	<i>50</i>
g. <i>Aligners VS multiattaches.....</i>	<i>51</i>
h. <i>Contrôle du torque antérieur.....</i>	<i>52</i>
i. <i>Contrôle de la version antérieure</i>	<i>53</i>
j. <i>Contrôle de l'intrusion antérieure.....</i>	<i>53</i>
k. <i>Contrôle de l'extrusion postérieure</i>	<i>53</i>
l. <i>Facteurs influençant l'efficacité des mouvements</i>	<i>54</i>
m. <i>Récidive.....</i>	<i>54</i>
n. <i>Revue systématique.....</i>	<i>55</i>
5. DISCUSSION	57
a. <i>Méthodologie et caractéristiques des études</i>	<i>57</i>
b. <i>Interprétation des résultats.....</i>	<i>58</i>
c. <i>Apports des minivis.....</i>	<i>63</i>
d. <i>Récidive & contention.....</i>	<i>63</i>
e. <i>Et quel avenir ?.....</i>	<i>64</i>
f. <i>Intérêt d'un mémoire de spécialité.....</i>	<i>65</i>
g. <i>Proposition d'un organigramme décisionnel de prise en charge.....</i>	<i>65</i>
V. CONCLUSION	68
VI. INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	69
VII. BIBLIOGRAPHIE	72

I. Résumé

Le développement des aligneurs depuis une vingtaine d'années, en particulier d'Invisalign®, a fait qu'aujourd'hui ceux-ci sont une alternative aux traitements orthodontiques multiattaches fixes. Nous avons voulu confronter cette technique novatrice à une malocclusion fréquente et parfois complexe à traiter, la supraclusion. Au vu de la littérature scientifique, l'objectif de cette revue systématique a été d'évaluer l'efficacité, la précision et la stabilité du traitement de la supraclusion grâce aux aligneurs. Une recherche électronique a été entreprise à travers les bases de données : **Pubmed, Scopus, Google Scholar et Cochrane Library**. Une recherche manuelle d'articles a également été associée dans des revues scientifiques. **35** articles ont été retenus. Une certaine hétérogénéité des résultats a été constatée et il demeure difficile d'en ressortir des recommandations cliniques claires et consensuelles. D'autres études cliniques sont nécessaires pour évaluer la thérapeutique par aligneurs actuelle dans le cadre du traitement de la supraclusion. Il semble tout de même acquis que les aligneurs peuvent traiter les supraclusions faibles à modérées de manière relativement efficace, en particulier si une vestibuloversion incisive est autorisée. En revanche, si la supraclusion est sévère chez un patient hors croissance, et qu'une vestibuloversion incisive importante ne peut pas être réalisée, des accessoires tels que les minivis sont rapidement indiqués pour potentialiser l'ingression antérieure. Mais les traitements multiattaches fixes demeurent plus efficaces dans les cas complexes.

Un **diagnostic précis**, une **connaissance de la biomécanique** spécifique aux aligneurs et de ses limites, et l'**optimisation du set up virtuel dynamique** sont les conditions requises pour parvenir à un résultat en adéquation avec les objectifs initiaux de traitement.

Mots-clés : aligneurs, supraclusion, prédictibilité, efficacité, précision, Invisalign®.

Abréviations :

- ATM : Articulation Temporo Mandibulaire
- CAD-CAM : Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing
- CC : ClinCheck®
- DVO : Dimension Verticale d'Occlusion
- MB : Multibagues
- MOY : Moyenne
- OGS score : Objective Grading System (de l'American Board of Orthodontics)
- OIM : Occlusion d'Intercuspidie Maximale
- PAR index : Peer Assessment Index
- PR : Power Ridges
- TCL : Torque Corono-Linguale
- TCV : Torque Corono-Vestibulaire
- TIM : Elastiques de Traction Inter Maxillaires
- TRP : Torque Radiculo-Palatin
- TRV : Torque Radiculo-Vestibulaire

II. Introduction

L'évolution de l'orthodontie moderne vise à traiter une population de plus en plus exigeante sur le plan esthétique, y compris durant le traitement. Ainsi les attaches vestibulaires céramiques mais aussi linguales se sont développées. Depuis une vingtaine d'années maintenant, une autre thérapeutique orthodontique a émergé, à savoir la technique par aligneurs.

Depuis 1945 et l'invention d'un positionneur thermoplastique par le Dr Kesling, les aligneurs ont considérablement évolué. Le développement de l'impression tridimensionnelle et de la conception assistée par ordinateur s'appuyant sur l'intelligence artificielle, ont permis la fabrication d'aligneurs personnalisés pour traiter des malocclusions de plus en plus complexes. Les principes et concepts orthodontiques éprouvés en termes de biologie osseuse, de biomécanique, d'ancrage et d'occlusion restent par ailleurs inchangés et toujours applicables à cette technique novatrice.

Celle-ci se construit sur un modèle prospectif, à l'aide d'un set up virtuel dynamique régi par des algorithmes complexes, sur lequel l'orthodontiste élabore une stratégie de traitement pour parvenir à des objectifs préalablement fixés. Ainsi, les notions de **prédictibilité** et d'**efficacité** de la technique sont parmi les enjeux auxquels les aligneurs doivent répondre.

Par une analyse de la littérature discutant des aligneurs, nous avons voulu confronter cette technique à une malocclusion spécifique, la supraclusion. Cette malocclusion de la dimension verticale est fréquente et parfois difficile à traiter. L'objectif principal de cette revue a été **d'établir les possibilités et les limites du traitement de la supraclusion par les aligneurs au vu des données actuelles de la littérature**. Les notions, par ailleurs essentielles, de diagnostic, de biomécanique orthodontique et de récurrence ont été abordées et considérées.

III. Généralités

1. La supraclusion

La **supraclusion antérieure** est une malocclusion de la dimension verticale fréquente, correspondant à un recouvrement antérieur excessif des dents antérieures mandibulaires par les dents antérieures maxillaires. Elle se localise au niveau incisif et peut s'étendre jusqu'aux canines. Quantitativement, elle correspond à un recouvrement majoré de **3 à 5 mm** en OIM selon les auteurs (figure 1). Pour Marguelles-Bonnet, c'est un recouvrement de plus d'**un tiers** de la hauteur coronaire des incisives mandibulaires. Bazin et Brunner ont proposé une définition plus fonctionnelle et dynamique, en considérant un excès de recouvrement antérieur lorsqu'en bout à bout incisif, la désocclusion molaire est supérieure à **2 mm**.

D'un point de vue épidémiologique, 36 à 40 % des enfants sont affectés en denture temporaire, et 40% à l'âge adulte. Le recouvrement total concerne 13% de la population. Selon Nanda, un traitement doit être entrepris au-delà de 40% de recouvrement des incisives mandibulaires par les incisives maxillaires. (1)

Le **guidage incisif** est une notion fondamentale dans les cas de supraclusion. Le **triangle de Slavicek** (figure 1) met en relation le *recouvrement*, le *surplomb* et la *pente de guidage*. Cette pente de guidage augmente lorsque le recouvrement augmente ; la désocclusion postérieure est alors majorée lors de la propulsion mandibulaire. L'importance de la désocclusion engendrée est fonction d'autres facteurs : la hauteur d'engrènement des prémolaires et molaires, la profondeur de la courbe de Spee, l'inclinaison de la pente condylienne. (2,3) Il est d'usage d'établir qu'une pente incisive fonctionnelle est de 10° supérieure à la pente condylienne. Ce guide incisif assure un rôle de **protection biomécanique** : plus le contact est antérieur, plus faible est la charge transmise aux éléments biologiques, articulaires, dentaires et parodontaux sous l'action des muscles masticateurs. Le rôle de **protection proprioceptive** du guide antérieur n'est pas à omettre, puisqu'il assure une certaine liberté de fonctionnement de l'appareil manducateur, et une facilitation de ce système neuro-musculaire en équilibre constant.

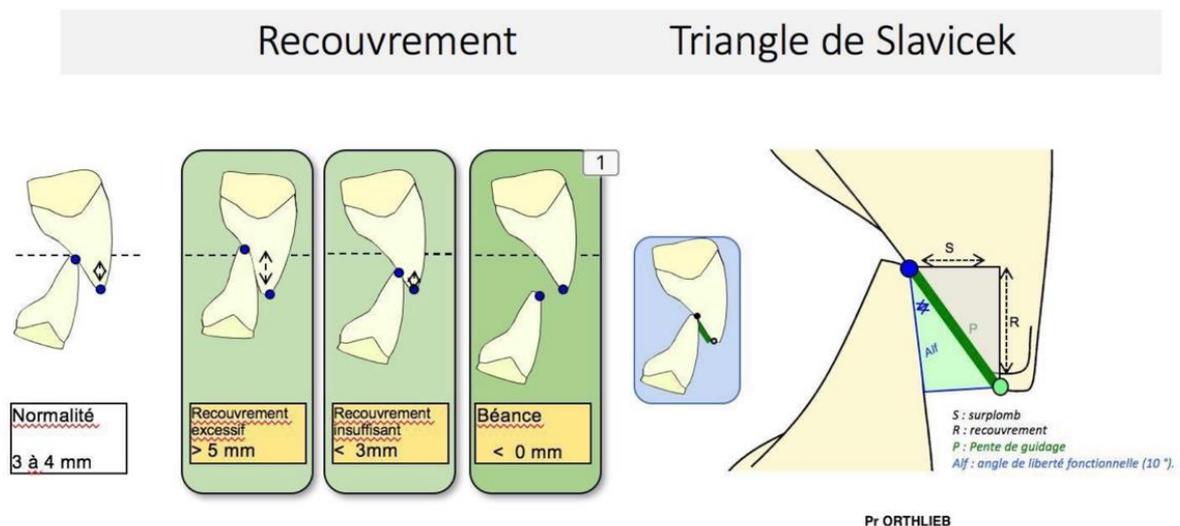


Figure 1 : Classification de la sévérité de la supraclusion en fonction du recouvrement (gauche) ; Triangle de Slavicek : corrélation entre surplomb, recouvrement et pente de guidage (droite) (2).

a. Examens cliniques et complémentaires (4)

Poser un diagnostic précis est essentiel pour établir la meilleure stratégie de traitement pour chaque patient. Il est important d'évoquer que la supraclusion est une problématique qui doit s'inscrire dans une prise en charge **globale**, prenant en compte un diagnostic à tous les

niveaux, c'est-à-dire squelettique, dento-alvéolaire, fonctionnel, musculo-articulaire et esthétique.

A l'examen *exobuccal*, il y a peu ou pas de retentissement esthétique. La supraclusion s'inscrit parfois dans un schéma caractéristique de **classe II.2** au niveau alvéolaire et dans un contexte d'**hypodivergence** au niveau squelettique. Il existe alors une éversion de la lèvre inférieure et/ou un sillon labio-mentonnier marqué. Mais cela n'est pas systématique.

L'analyse du sourire peut révéler un **sourire gingival** dont les causes sont multiples : éruption passive incomplète, accroissement gingival, lèvre supérieure courte, supralvéolie maxillaire ou excès vertical maxillaire simple. Il conviendra de définir s'il s'agit ou non d'un des objectifs du traitement orthodontique, et comment le traiter : orthodontie, chirurgie parodontale ou chirurgie orthognathique. Fradeani estime qu'un sourire découvrant 1mm de gencive est esthétique, mais la notion de vieillissement du sourire est fondamentale : la ligne du sourire s'abaisse avec l'âge, la gencive maxillaire disparaît au profit des incisives mandibulaires.

A l'examen *endobuccal*, le recouvrement ou « *overbite* » est excessif, avec ou sans courbe de Spee majorée au niveau mandibulaire, avec ou sans inversion de la courbe occlusale sagittale au niveau maxillaire. Les axes incisifs seront évalués.

Les *examens complémentaires* comprennent :

- Un examen *phonatoire* où les dents antérieures mandibulaires peuvent être visibles lors de l'élocution. D'après Zachrisson, si la prononciation du prénom « EMMA » expose les incisives mandibulaires, la ligne du sourire est trop basse, les incisives mandibulaires sont égressées. L'analyse dynamique du sourire à réaliser est également pertinente.
- Un examen des *modèles numériques ou physiques* permet de mesurer avec précision le recouvrement incisif, d'avoir une vue postérieure sur les rapports inter-arcades, et d'objectiver une éventuelle morsure palatine. Les courbes d'occlusion maxillaire et mandibulaire sont analysées, l'indice de Bolton et le calcul des dysharmonies dento-dentaires et dento-alvéolaires peuvent être réalisés.
- Evaluations *téléradiographiques qualitatives et quantitatives* : analyse de Björk-Steiner

L'angle formé par le plan palatin avec le plan d'occlusion supérieur est mesuré (**Ans-Pns/OIs**) : $10^\circ \pm 4^\circ$. Toute modification de cet angle est causée par une égression ou une ingression des incisives ou des molaires supérieures, ou une bascule du plan palatin, à corrélérer avec l'orientation de la base du crâne. L'angle entre le plan mandibulaire et le plan d'occlusion inférieur (**MP/Oli**) peut également être mesuré : $20^\circ \pm 5^\circ$. Toute modification de cet angle est causée par une égression ou ingression des incisives ou des molaires inférieures, ou une bascule du plan mandibulaire, à corrélérer avec l'orientation de la base du crâne. (figure 2)

L'orientation du plan d'occlusion et les rapports verticaux antérieurs et postérieurs sont quantifiés. Le **plan occlusal de Ricketts**, correspondant au plan passant par les recouvrements molaires et prémolaires ou canins, ou molaires-molaires en denture temporaire : il est à confronter avec la position des bords incisifs, des lèvres et du stomion. (figure 3)

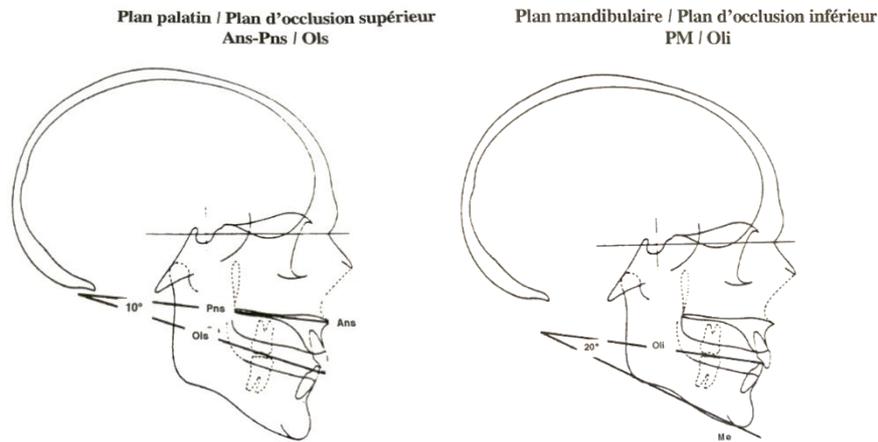


Figure 2 : Angle Plan palatin / Plan d'occlusion supérieur (gauche) ; Plan mandibulaire/ Plan d'occlusion inférieur (droite).(5)

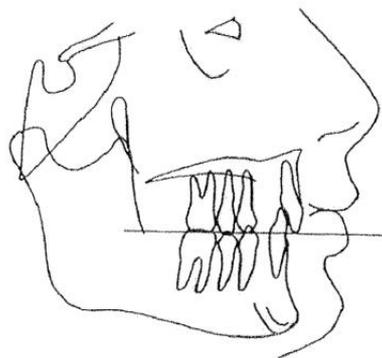


Figure 3 : Plan occlusal de Ricketts (supraclulsion par égression antérieure mandibulaire)(5)

A noter que si le patient est en phase de croissance, si des signes de rotation antérieure de Björk sont retrouvés, cela va dans le sens de l'apparition ou de l'aggravation d'une supraclulsion.

b. Les différentes formes cliniques (3)

o Supralvéolie des incisives maxillaires.

Toutes les typologies faciales peuvent être retrouvées. Les bords libres des incisives maxillaires dépassent à la fois le plan de Ricketts et le stomion de plus de 2 mm au repos, mais cette valeur est à pondérer selon l'âge et le sexe du patient. En effet la tonicité et la hauteur de la lèvre supérieure ont un impact sur cette mesure. La courbe de Spee mandibulaire n'est pas augmentée, mais la courbe occlusale maxillaire peut être inversée. Un sourire gingival est alors fréquemment retrouvé.

o Supralvéolie des incisives mandibulaires.

Fréquente, l'étage inférieur est normal ou diminué. Les incisives maxillaires sont bien positionnées dans le sourire et par rapport au stomion, les bords libres des incisives mandibulaires sont au-dessus du plan occlusal de Ricketts. L'examen phonétique avec prononciation de « EMMA » expose particulièrement les incisives mandibulaires. La courbe de Spee est majorée.

o Infralvéolie des molaires

Le schéma facial est hypodivergent. L'équilibre facial est amélioré en mettant un rouleau de coton salivaire entre les molaires. L'espace libre d'inocclusion molaire au repos est

augmenté. Elle est rarement isolée, la tonicité des muscles élévateurs et l'interposition linguale et/ou jugale jouent un rôle majeur dans l'apparition et l'entretien de cette anomalie.

○ **Origine mixte**

Les bords libres des incisives maxillaires dépassent le stomion de plus de 2 mm, au-dessous du plan d'occlusion de Ricketts, et inversement, les incisives mandibulaires sont au-dessus de ce plan. La courbe occlusale sagittale maxillaire peut être inversée, et la courbe de Spee mandibulaire accentuée. Cela constitue en général, les formes les plus sévères de supraclusion.

○ **Cas particulier : la classe II division 2**

Peu fréquente, **2 à 14 %** de la population est concernée. Elle se caractérise par une arcade mandibulaire en position distale, des incisives maxillaires palatoversées et un recouvrement excessif. On parle de « *syndrome* » de la classe II.2, le tableau clinique associant souvent une hypodivergence, un faible décalage sagittal, dans un contexte musculaire hypertonique. (6)

Selon l'origine primitive ou secondaire, Darqué (7) distingue deux types de classe II.2 :

a) **Primitive ou héréditaire**

Le décalage sagittal squelettique est faible, dans un contexte d'hypodivergence avec une croissance de type rotation antérieure. L'angle interincisif est ouvert, le patient présentant une birétroalvéolie. L'hérédité intervient à différents niveaux : la position initiale des germes incisifs, le tonus musculaire et la typologie verticale du patient. L'apparition est précoce, parfois dès la denture temporaire.

b) **Secondaire ou acquise**

Elle compense un décalage squelettique important de classe II par palatoversion maxillaire et vestibuloversion mandibulaire plus ou moins marquée. Le schéma squelettique est verticalement variable.

c. **Etiologies (3,4,8)**

○ **Croissance crânio-faciale**

D'après les travaux de Van Limborgh et Björk, la croissance crânio-faciale résulte à la fois de facteurs génétiques, épigénétiques, et environnementaux, généraux ou locaux. Le schéma squelettique est en fait déterminé génétiquement, mais sous l'influence de son environnement, dans lequel les thérapeutiques fonctionnelles, orthopédiques et orthodontiques viennent prendre place.

- La croissance du *complexe naso-maxillaire* est essentiellement sous dominance suturale mais aussi cartilagineuse, via la capsule et le septum nasal. Il y a aussi un remodelage du maxillaire par les phénomènes d'apposition et de résorption périostées.
- La croissance *mandibulaire* est complexe, membraneuse, périostée avec une zone de croissance particulière au niveau condylien.
- La croissance *verticale alvéolaire* est l'intermédiaire adaptatif entre la croissance maxillaire et mandibulaire, mais aussi entre les organes dentaires soumis à l'attrition.

Certains éléments favorisent le développement d'une supraclusion :

- une **croissance en rotation antérieure** avec un développement alvéolaire vertical postérieur réduit, la croissance condylienne se faisant dans ce cas vers le haut et l'avant.
- la **position initiale des germes des incisives** engendrant un angle interincisif ouvert, les forces occlusales ne s'opposent pas à l'égression des incisives.

L'éruption de la 1^{ère} molaire permanente est déterminante, en réglant notamment la position transversale et verticale de la langue. Lors de la mise en place des différentes dentitions, les organes dentaires s'organisent en arcades dans un contexte anatomo-physiologique qui varie avec l'âge et qui dépend du développement des procès alvéolaires, de la croissance des mâchoires, et de la maturation des fonctions oro-faciales ; fonctions qui jouent un rôle prépondérant dans les variations de direction de croissance.

○ **L'environnement neuro-musculaire (1,3,4)**

Le nerf trijumeau est considéré comme le grand architecte de la face, grâce notamment à son rôle proprioceptif. Le système alvéolo-dentaire est en équilibre entre les masses musculaires que sont les joues, les lèvres, et la langue, innervées par le nerf trijumeau. La supraclusion peut résulter d'un mauvais contrôle des incisives par les lèvres. Lors de son élévation ou de sa contraction, la lèvre inférieure bloque normalement l'égression de l'incisive maxillaire. Un décalage sagittal de la lèvre inférieure entraîne une égression majeure de l'incisive maxillaire. (figure 4)

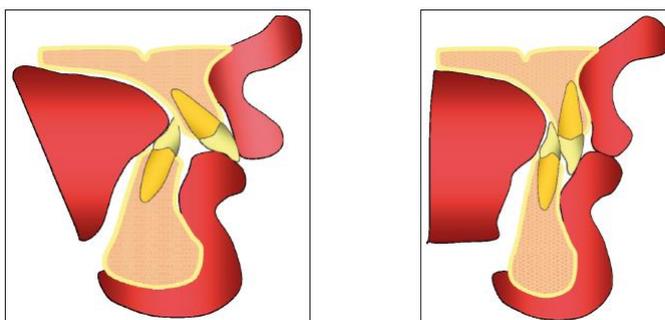


Figure 4 : à gauche : interposition labiale inférieure ; à droite : hypertonie labiale (1)

Dans les cas de classe II.2, il existe une **hyperactivité des muscles élévateurs** et de la **sangle labiale**. La **langue**, dont la posture dite « *en crosse* », haute et distale, agit au niveau apical des incisives maxillaires et peut s'interposer sur les secteurs latéraux, freinant la croissance alvéolaire verticale des secteurs latéraux. Par ailleurs, la **lèvre inférieure hyperactive** vient s'appuyer sur la face vestibulaire des incisives maxillaires. Ce couple de force provoque une palatoversion importante des incisives.

Chez l'hypodivergent, la musculature élévatrice, volumineuse et insérée antérieurement freine la croissance verticale faciale et alvéolaire postérieure. Les muscles abaisseurs sont en revanche peu toniques. Le chef postérieur du muscle temporal hyperactif, évitant le contact incisif en fin de cycle masticatoire, et la position haute et reculée de l'os hyoïde, entretiennent une position rétruse de la mandibule.

Les **parafonctions** (déglutition atypique avec interposition linguale ou jugale dans les secteurs postérieurs, l'onychophagie, le bruxisme ou la mastication excessive de gommes dures...) sont à prendre en compte et nécessitent d'être traitées.

Un contact interincisif non fonctionnel engendre un rétrocontrôle neuromusculaire perfectible et favorise l'entretien de la supraclusion.

- **Facteurs dentaires**

La **microdontie** et les **agénésies multiples** peuvent engendrer une supraclusion par la création d'une dysharmonie dento-dentaire, en particulier en cas d'excès maxillaire ou d'insuffisance mandibulaire. La répartition des forces masticatoires est réduite, la croissance verticale de la face est limitée. Le cingulum des incisives maxillaires, s'il est absent, rend le calage vertical antérieur instable.

De plus, une hauteur coronaire des dents antérieures trop importante peut occasionner une supraclusion, toutefois relative. L'ingression n'est pas le traitement de choix, une coronoplastie soustractive est alors indiquée.

De même qu'une hauteur coronaire postérieure diminuée (restaurations perfectibles, MIH, anomalie de structure...) ou un édentement postérieur important peuvent engendrer une perte de DVO et un calage à restaurer.

d. **Conséquences et enjeux**

- **Frein à la croissance faciale verticale et antéro-postérieure**

Pour un patient en cours de croissance, la mandibule est comme verrouillée par le problème de supraclusion, et le potentiel de croissance ne peut s'exprimer pleinement. Un réflexe d'évitement tend à ramener celle-ci vers l'arrière de par le blocage antérieur mécanique occasionné. Par ailleurs, dans un schéma de rotation antérieure, la mandibule a tendance à s'enrouler sur elle-même et « nourrit » le phénomène de supraclusion.

- **Supraclusion et articulations temporo-mandibulaires**

L'enveloppe fonctionnelle du **cycle masticatoire** est verticalisée et réduite, les facettes de guidage en propulsion se font sur les faces vestibulaires des incisives mandibulaires. Selon Orthlieb, la supraclusion favorise le mouvement de Bennett, correspondant à un jeu transversal dans l'ATM, et participe aux **désunions disco-condyliennes**. L'ATM homolatérale fonctionne ainsi en diduction vers l'arrière, une compression articulaire apparaît au niveau de la zone bilaminaire. Cependant, une relation causale directe entre supraclusion et dysfonctions temporo-mandibulaires n'a clairement pas encore été établie, l'origine étant multifactorielle, notamment psychosomatique.

- D'un point de vue **parodontal et dentaire**,

Des **morsures palatines** avec **récessions** palatines maxillaires, ou vestibulaires mandibulaires sont parfois visibles. Le **traumatisme occlusal** engendré, dans un contexte d'inflammation parodontale, peut aggraver des lésions parodontales préexistantes.

L'**attrition occlusale** est parfois en lien avec un recouvrement excessif, au niveau palatin des incisives maxillaires et vestibulaires des incisives mandibulaires. Ces usures sont également à corrélérer au bruxisme et à la puissance des muscles masticateurs.

- D'un point de vue **prothétique**,

L'orthodontie pré-prothétique corrigeant une supraclusion peut être indiquée afin d'aménager une place suffisante pour la restauration dans les trois dimensions de l'espace, permettant ainsi une conservation tissulaire et une harmonisation des collets par les mouvements verticaux orthodontiques induits.

e. Options thérapeutiques

L'arc de base de Ricketts en technique multiattaches est simple à comprendre d'un point de vue biomécanique dans le traitement d'une supraclusion, il est présenté en figure 5 :

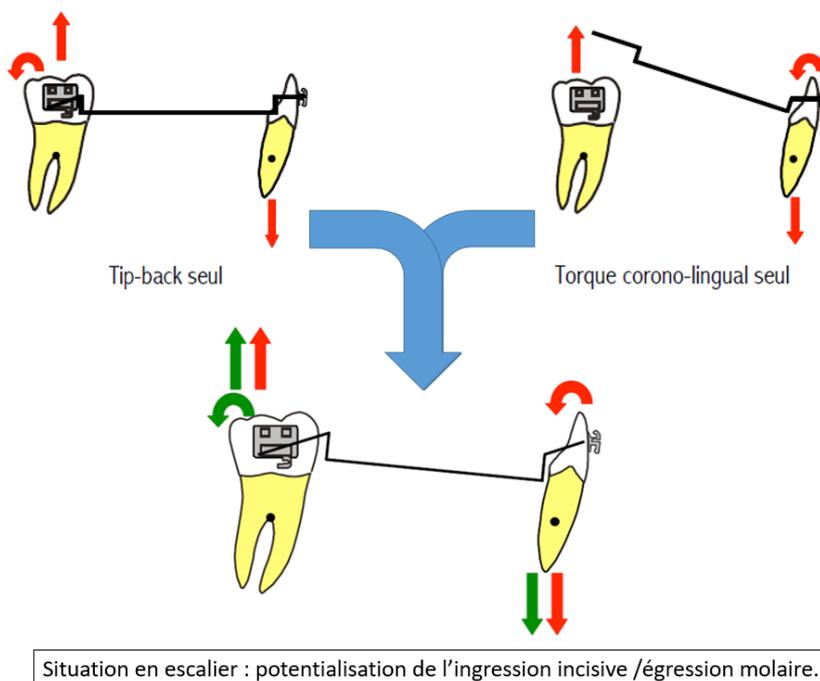


Figure 5 : arc de base de Ricketts mandibulaire.

Différents mouvements orthodontiques sont possibles pour corriger une supraclusion. Le plus souvent une combinaison de ces mouvements est réalisée.

➤ L'ingression antérieure : maxillaire et/ou mandibulaire

En moyenne, nous pouvons obtenir **1,5 mm** d'ingression **maxillaire** et **1,9 mm** d'ingression **mandibulaire** en technique multiattaches segmentée (9). Ce mouvement est à risque de résorptions radiculaires, il est important d'attendre la fermeture des apex et d'y associer une surveillance radiologique rapprochée.

➤ L'égression postérieure : maxillaire et/ou mandibulaire

Elle est **active** par l'utilisation d'élastiques de traction intermaxillaire (TIM) courts associés à des cales rétro-incisives (ou un plan rétro-incisif), ou **passive** par la simple désocclusion postérieure engendrée par ces cales. Cet effet est majoré en période de croissance alvéolaire.

Elle réduit de manière importante la supraclusion : **1 mm** d'égression postérieure permet de **diminuer le recouvrement antérieur de 1,5 à 2,5 mm**. (8) Chez l'hypodivergent, l'esthétique facial est alors amélioré. Cependant, l'environnement neuromusculaire non réadapté et une hypertonicité musculaire persistante sont sources de récives.

Dans les cas sévères nécessitant une chirurgie d'avancée mandibulaire, la courbe de Spee peut être maintenue lors de la phase de préparation chirurgicale pour être nivelée après l'intervention chirurgicale. L'égression est potentialisée par la désocclusion consécutive à l'avancée mandibulaire, couplée de l'hypofonctionnement du système manducateur. L'état inflammatoire engendré entraîne une production de cytokines pro-inflammatoire et d'enzymes protéolytiques permettant de potentialiser les mouvements orthodontiques.

➤ **La version des incisives : maxillaire et/ou mandibulaire**

La version des incisives induit une pseudo-ingression, ou ingression relative.

On distingue trois types de version :

1) La version « incontrôlée »

La dent tourne autour de son centre de résistance. La couronne se déplace dans une position, la racine dans une direction opposée. Ce type de version est la méthode la plus simple et efficace pour traiter une supraclusion. Toutefois, elle peut ne pas correspondre aux objectifs de traitement.

Une *corrélation mathématique trigonométrique* (figure 6) entre inclinaison axiale et intrusion relative peut être décrite, partant d'une incisive droite à 90° (10) :

Changement d'inclinaison axial (°)	Intrusion relative (mm)
90 > 100	0.2432
100 > 110	0.7216
110 > 120	1.1792
120 > 130	1.6000
130 > 140	1.9712
140 > 150	2.2848
150 > 160	2.5280
160 > 170	2.6944
170 > 180	2.7776

Figure 6: Corrélation entre inclinaison axiale et intrusion relative.(10)

2) La version contrôlée « coronaire »

Le centre de rotation est situé au niveau de l'apex de la dent. Le mouvement coronaire est d'amplitude moindre que dans la version non contrôlée. L'impact sur la position verticale de l'incisive est alors réduit.

3) Le torque radiculaire

Il s'agit d'un mouvement de racine où le centre de rotation se trouve au niveau de la couronne. Il n'est pas indiqué pour corriger un excès de recouvrement antérieur, puisque l'ingression obtenue est négligeable. Toutefois son contrôle est nécessaire afin d'obtenir un angle interincisif fonctionnel et compatible avec la stabilité du résultat à long terme, aux environs des 131° +/-5° selon l'analyse de Steiner.

f. **Critères de décision (3-5)**

La prise en charge de la supraclusion dépend de son **origine squelettique et/ou dento-alvéolaire**. Elle doit également prendre en compte **les critères esthétiques et fonctionnels**.

- D'un point de vue **squelettique**,

→ Chez l'individu *hypodivergent* ou *mésodivergent*, avec une direction de croissance antérieure, l'égression molaire sera favorisée par la croissance alvéolaire naturelle, et sera compensée par une croissance ramale augmentant la dimension verticale. Nous pouvons l'associer à une ingression antérieure. Cependant, les récives sont fréquentes.

En revanche chez l'adulte, l'égression molaire entraîne une bascule horaire du plan d'occlusion et un accroissement de la divergence mandibulaire.

En cas de classe II majeure, sans potentiel de croissance, une chirurgie d'avancée mandibulaire peut se justifier. Le nivellement de la courbe de Spee se fait à posteriori par égression des secteurs latéraux, de manière active avec des TIM. Le plan d'occlusion est ainsi normalisé.

→ Chez l'individu **hyperdivergent**, avec un potentiel de croissance absent ou faible et s'exprimant en rotation postérieure, l'ingression antérieure est la thérapeutique de choix : la dimension verticale est ainsi contrôlée.

En revanche chez un patient hors croissance, si le préjudice esthétique et fonctionnel est majeur, une chirurgie d'impaction maxillaire s'impose avec normalisation du plan d'occlusion.

- D'un point de vue **dento-alvéolaire**, en fonction de l'origine maxillaire ou mandibulaire de la supra-alvéolie,

→ Dans la dimension **verticale**, l'égression des incisives maxillaires et/ou mandibulaires nécessite leur ingression. Cependant, il est indispensable d'analyser le sourire pour ne pas causer de préjudices esthétiques dans les cas de supra-alvéolie antérieure maxillaire.

En parallèle, l'égression postérieure permet de corriger l'infra-alvéolie postérieure.

L'origine mandibulaire de la supra-alvéolie antérieure se corrige par ingression des incisives mandibulaires.

→ Dans la dimension **antéro-postérieure**, l'origine de la participation maxillaire et/ou mandibulaire doit être déterminée avec pour objectif des axes incisifs idéaux. Plusieurs mouvements sont alors possibles : une vestibulo-version contrôlée, non contrôlée ou un mouvement de torque radiculaire pur.

Dans les cas de *classe II.2* avec rétroalvéolie antérieure, la vestibulo-version antérieure est autorisée et corrige de manière efficace la supraocclusion.

→ Il faut aussi prendre en compte la **coudure corono-radiculaire des incisives maxillaires**, liée à une position des germes contre la corticale vestibulaire lors de leur évolution. En effet, le torque radiculo-palatin est limité par sa présence, et les risques de résorptions radiculaires sont augmentés en cas de contact avec la corticale palatine.

- D'un point de vue **esthétique et fonctionnel**,

→ Une exposition gingivale du sourire supérieure à 3 mm nécessite une thérapeutique orthodontique d'ingression antérieure maxillaire ou à défaut une chirurgie, si le cas est sévère et lié à un excès squelettique vertical antérieur majeur.

→ Au cours du vieillissement, la ligne du sourire s'abaisse par la ptose des tissus mous et l'affaiblissement musculaire et expose les incisives mandibulaires. Un léger sourire gingival peut donc être toléré si le patient est « jeune ».

→ La visibilité des incisives mandibulaires au cours de la phonation ou du sourire nécessite une ingression ou une vestibulo-version de ces dernières.

→ Dans les cas d'excès verticaux des incisives, une coronoplastie des bords libres antérieurs peut être effectuée.

→ Dans les cas d'usures dentaires ou perte de DVO, une augmentation verticale est réalisée prothétiquement par l'ajout d'overlays molaires et/ou des facettes palatines antérieures maxillaires.

2. Aligneurs et supraclusion : principes biomécaniques

a. Historique des aligneurs

L'histoire des aligneurs remonte à 1945, lorsque le Dr Kesling invente un appareil amovible, ancêtre du *tooth positionner*, pour déplacer les dents de manière limitée sans arcs ni bagues. Deux étudiants de Stanford, en 1997, appliquent l'imagerie et l'impression 3D au domaine de l'orthodontie et créent le système d'aligneurs individualisé d'Align Technology. Initialement, les aligneurs n'étaient utilisés que pour des traitements simples de classe I avec encombrement mineur. Mais l'évolution de la technique permet aujourd'hui de traiter des malocclusions de plus en plus complexes, et les supraclusions en font parties.

De nombreux systèmes d'aligneurs sont sur le marché ou en cours de développement, il est aujourd'hui important de considérer les aligneurs comme une technique à part entière et non un produit commercial d'alignement. Sa maîtrise, dans l'élaboration du plan de traitement jusqu'aux finitions, permet de proposer cet outil aux patients comme une alternative au traitement multiattaches, vestibulaire ou lingual. Les aligneurs s'inscrivent par ailleurs dans l'ère du numérique et de l'intelligence artificielle : la rapidité d'exécution et l'individualisation du traitement proposé sont parmi les bénéfices obtenus (figure 7). Les aligneurs sont fabriqués à l'issue de ce qu'il est d'usage d'appeler le « *work flow* », ou flux numérique.

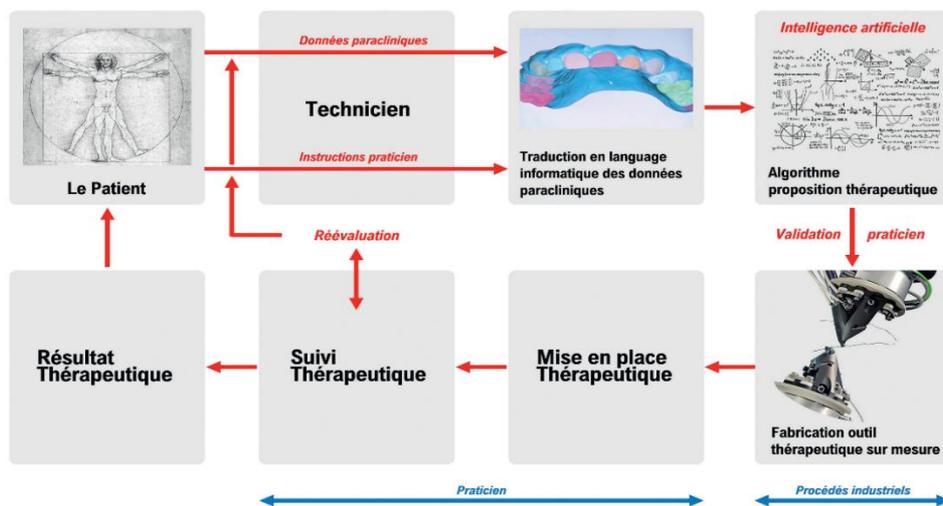


Figure 7 : Conception actuelle de l'outil thérapeutique orthodontique par procédé CAD/CAM.(11)

Il existe différents types de gouttières, les plus connues étant les gouttières Invisalign® et DentoSmile®. Toutefois, d'autres fabricants sont apparus progressivement et regroupent de sérieux concurrents, parmi lesquels Clear Aligner®, Orthocaps® et ClearCorrect®. La figure suivante expose de manière chronologique le début des aligneurs.

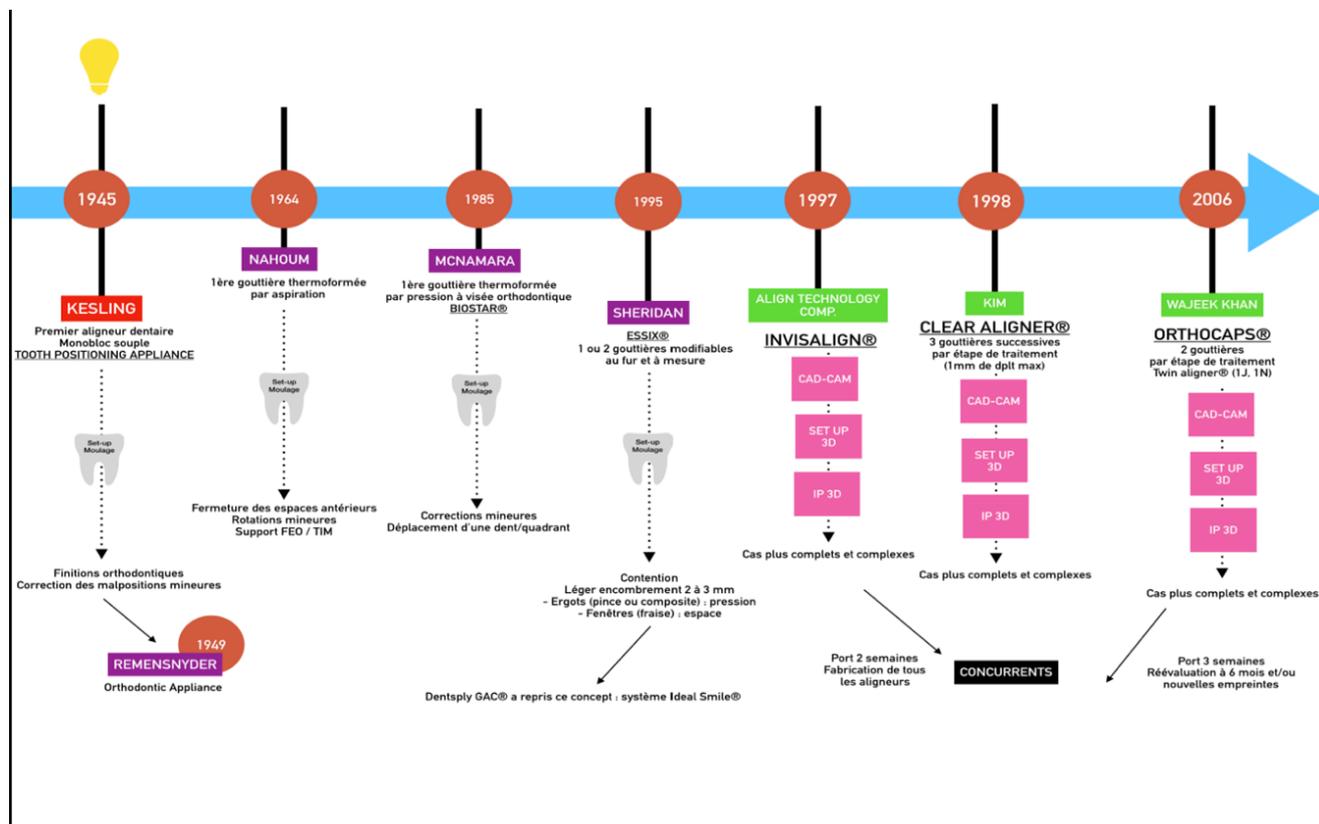


Figure 8 : Débuts des aligneurs

Depuis, le nombre de sociétés proposant un système d'aligneurs a considérablement augmenté :

Nom commercial / Fabricant	Spécificités
Insignia Clear Guide® / Ormco®	Mordu d'occlusion pour contrôle en cours de traitement.
Smiler®/Biotech Dental®	Société Française (résine PETG)
SureSmile Aligners®/Dentsply Sirona®	
Cristal Aligner® / Cristal Orthodontie®	Maximum 28 aligneurs
Aligneur/ Zephyr Dental®	Société Française (résine PETG)
Simply5®/Ormco®	
eAligner®/Innova Pharm®	...

Les systèmes d'aligneurs ont cependant des points communs :

- Acquisition numérique pour modèle virtuel 3D (après empreinte numérique directe ou physique au vinyl polysiloxane).
- Modélisation de l'occlusion finale avec logiciel spécifique.
- Incorporation de la prescription thérapeutique : +/- modifications directes par le praticien prescripteur (accessoires, stripping, surcorrections...).
- Réalisation des aligneurs thermoformés sur modèles imprimés par CFAO.

b. Différents systèmes d'aligneurs

❖ Essix® (12)

En 1995, Sheridan développe le système **Essix®** basé sur les mêmes principes que ceux de Kesling. Cette gouttière est thermoformée à partir de modèles en plâtre. Cependant, il innove en ajoutant sur son aligneur :

- des *ergots* (devots), en regard des dents à déplacer, en déformant la gouttière grâce à un outil à emboutir, la « *pince de Hillard* » ou en mettant de la résine composite sur la dent, le but étant d'exercer une **pression** sur cette dernière.
- des *fenêtres* (windows), en utilisant une fraise dans le but de créer un espace libre dans lequel la dent peut se déplacer.

Ces gouttières sont indiquées surtout dans les cas de mouvements dentaires de faible amplitude. Pour cela, elle ne présente que peu d'intérêt dans notre revue, aucun article scientifique pertinent n'ayant été publié à son sujet.

❖ *Clear Aligner® (13)*

En 1998, Kim met au point le système **Clear Aligner®** qui s'appuie sur l'utilisation de trois aligneurs successifs, chacun avec un degré d'élasticité différent : CA® Soft, CA® Medium et CA® Hard. Les gouttières sont thermoformées sur le même set-up et réalisées à partir de trois feuilles de polyuréthane DURAN® d'épaisseur croissante (0.5 mm, 0.625 mm et 0.75 mm). Dans chaque série, le déplacement maximal effectué est d'un millimètre.

❖ *Invisalign® d'Align technology (14)*

Dans le système **Invisalign®**, les mouvements dentaires sont obtenus par étapes successives, et chaque étape correspond à un aligneur. D'après le modèle virtuel dynamique, un modèle physique est réalisé en résine plastique pour chaque étape, correspondant au fractionnement du traitement pour des mouvements de **0.25mm** et **2°** par aligneur au maximum.

En 1997, deux orthodontistes et un ingénieur en informatique, créent la compagnie Align Technology Inc. Le système Invisalign® découle de l'utilisation conjointe de deux techniques :

- Le **CAD-CAM** (*computer-aided design and computer-aided manufacturing*) qui permet la numérisation des empreintes ou de la denture, afin d'obtenir un modèle virtuel dynamique 3D appelé « ClinCheck ». Cet outil est un moyen pour le praticien de visualiser le déplacement demandé pour chaque dent et de contrôler le bon déroulement du traitement à chaque étape.
- La **stéréolithographie** (avec imprimante 3D) de résine liquide à visée industrielle qui permet la fabrication d'une série d'aligneurs à partir de leurs images 3D, dont l'épaisseur est inférieure au millimètre.

❖ *Orthocaps® (15)*

En 2006, le système **Orthocaps®** développé par Wajeeh Khan, est aujourd'hui le principal concurrent européen d'Invisalign®. Ce système reprend le concept de set-up virtuel 3D et de CAD/CAM avec une interface informatique praticien/patient. Le traitement peut être partiel ou global, mono ou bi-arcade. Après évaluation, il n'est modifiable que par un technicien de laboratoire, à la demande du praticien.

C'est un système basé sur le port de deux gouttières, souple le jour et rigide la nuit, appelées **Twin Aligners System®**. La gouttière rigide est portée seule pendant la première semaine de chaque étape de traitement. La durée du port de chaque série de gouttières est de trois semaines. Les aligneurs ne sont pas tous fournis dès le début, des empreintes doivent être reprises et une réévaluation faite tous les six mois.

Afin de transmettre une force efficace, il est important de créer une interface qui le permet sans perte d'intensité et/ou sans altération du contrôle directionnel des forces impliquées.

L'aligneur doit être parfaitement ajusté, la surface des dents et des zones interdentaires doit être reproduite avec la plus grande précision. De ce fait, les dispositifs annexes comme les points de pression, les encoches, les surépaisseurs, ou autres structures de type « *power ridges* » (PR), utilisés par certains systèmes comme Invisalign®, sont bannis par Orthocaps car jugés contre-productifs. Un rapport d'évaluation 3D peut être effectué en cours de traitement pour évaluer l'efficacité du système. Les patins de friction sont des taquets spécifiques fins et rugueux pour accroître la surface de contact avec l'aligneur.

c. Biomécanique des aligneurs versus appareils multiattaches (16)

Les aligneurs déplacent les dents différemment des appareils multiattaches. La qualité et la quantité des déplacements orthodontiques dépendent du système de force utilisé, notamment en termes d'intensité, de durée, et de point d'application de ces forces. Il faut qu'à la fois la conception, les propriétés du matériau thermoplastique, mais aussi la qualité de l'interface entre la dent et l'aligneur soient propices à la création d'un système de forces qui assure un déplacement dentaire efficace, contrôlé et prévisible. (15)

Un aligneur est capable de déplacer les dents selon deux approches différentes :

- L'approche dite des « déplacements dirigés » :

L'aligneur est conçu selon la nouvelle position désirée pour chaque dent. Ainsi, une fois l'aligneur en place, la dent se déplace graduellement jusqu'à atteindre la position imprimée dans l'aligneur. Ceci est suffisant pour le mouvement de version simple, mais ceci n'est pas le cas si un contrôle radiculaire simultané est nécessaire. Les taquets utilisés dans cette approche sont « passifs », c'est-à-dire qu'ils n'exercent pas de force mais augmente simplement la surface de contact de la dent avec l'aligneur pour potentialiser les mouvements dentaires et la rétention de l'aligneur sur les dents.

- L'approche dite des « forces dirigées » :

L'aligneur est conçu pour appliquer une force, ou un système de forces spécifiques à une dent ou à un groupe de dents, afin d'obtenir le mouvement désiré. Des auxiliaires peuvent être ajoutés à l'aligneur par des logiciels afin d'augmenter l'efficacité et le contrôle du déplacement dentaire. C'est le principe utilisé par les points de pression, les « *power ridges* » et les taquets optimisés actifs dans le système Invisalign®.

Pour un simple mouvement tel qu'une version, l'application d'une force unidirectionnelle est suffisante, mais dans les mouvements plus complexes tels qu'un mouvement de torque, l'aligneur doit pouvoir transmettre un couple de forces et de moments adéquats.

Les forces engendrées ne sont appliquées que sur les dents à déplacer, les autres servent d'ancrage. Grâce au contact intime entre l'intrados de l'aligneur et la couronne dentaire, la totalité des informations est transmise aux dents dans les trois dimensions de l'espace et ce dès la première étape. (17)

Le bon port des aligneurs développe des forces quasi-continues (22h) dont l'intensité décroît rapidement, ce qui permet de longues périodes de repos tissulaire favorable à la réorganisation parodontale.

❖ Notions biomécaniques clés

Les forces délivrées aux dents par les points de compression de la gouttière sur les dents vont permettre leur nivellement. La quantité de déplacement est comprise entre 0,25 et 1 mm.

Le choix des attachements est effectué en fonction de la biomécanique orthodontique, en partie suggérée ou imposée par le fabricant.

1- Force

Lorsque l'aligneur est inséré, il y a des différences mineures, mais programmées entre la position des dents actuelles et celle imprimée dans l'aligneur. Des zones de pression apparaissent au niveau des couronnes dentaires, initiant des forces et des moments, étant à distance du centre de résistance de chaque unité dentaire. Ces forces sont continues tant que l'aligneur est porté, mais d'intensité décroissante au cours du temps, puisque la dent se déplace jusqu'à la mise en place de l'aligneur suivant. (figures 9 et 10)



Figure 9 : Force applicable sur une attache collée sur la couronne dentaire (14).

Les forces développées sont exercées directement sur les couronnes dentaires. Chaque aligneur comprend une somme de forces qui conduisent à des mouvements normalement programmés. Il s'affranchit du phénomène frictionnel retrouvé dans le système multiattaches, puisqu'il n'y a pas d'interface fil/brackets.

Cependant, contrairement au traitement multiattaches, la force exercée est légère et décroît de façon exponentielle au cours du port de l'aligneur.

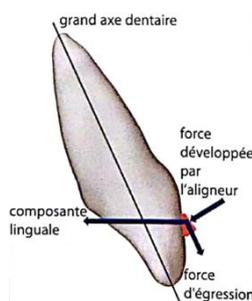


Figure 10 : Force applicable par un aligneur avec ses composantes (14).

2- Insertion

Avec la technique d'arc droit en multiattaches, la séquence d'arcs commence avec des arcs ronds souples et à mémoire de forme, NiTi ou Copper NiTi, puis progressivement jusqu'aux arcs rigides et rectangulaires en acier de diamètre plus important. Les informations prescrites dans la technique pré-informée au niveau des brackets s'expriment pleinement lorsque l'arc est en pleine taille.

En revanche cette graduation de la précision n'est pas présente dans le traitement par aligneurs. Elle dépend simplement de l'intimité de la relation dent/aligneur et de sa surface de contact. La précision est d'ailleurs augmentée lorsque la couronne clinique est grande. L'intérêt de placer un ou plusieurs taquets sur une dent est parfois d'augmenter simplement la surface de contact avec l'aligneur et la rétention de ce dernier.

3- Ancrage

Le **trinôme de De Névrezé** met en relation *la force motrice, la résistance stable et la résistance motrice* : il demeure un principe biomécanique applicable aux aligneurs. La **troisième loi de Newton** fondée sur le principe d'action-réaction dicte la gestion de l'ancrage : un groupe de dents sert d'unité d'ancrage pour déplacer d'autres dents. Lors de la planification du traitement par aligneurs, il est possible de moduler et d'adapter le séquençage des déplacements dentaires pour optimiser cet ancrage, correspondant aux dents considérées comme immobiles.

	Multiattaches	Aligneurs
Force	Action de traction sur la dent	Action de pression sur la dent
Insertion	Précision augmentée avec le diamètre du fil : remplissage progressif des gorges des brackets au cours du traitement	Précision augmentée lorsque la surface de recouvrement de la dent par l'aligneur augmente
Ancrage	3 ^{ème} loi de Newton : Principe d'action/réaction et trinôme de de Névrezé.	Ancrage segmenté, préprogrammé et individualisé.

Figure 11 : Comparaison biomécanique multiattaches VS aligneurs. (16)

Réactivité vs proactivité

Le concept du traitement par aligneurs est différent du traitement multiattaches. L'orthodontie conventionnelle se veut réactive, le praticien réajuste l'appareillage en fonction de la réponse au traitement du précédent rendez-vous. L'approche concernant les aligneurs est différente, proactive et disciplinée dès le début du traitement puisque le traitement est programmé jusqu'à son résultat final avant la pose des premiers aligneurs. Les réajustements en cours de traitement sont en revanche limités.

d. Les différents mouvements impliqués dans la correction de la supraclusion (18)

1- L'égression postérieure

En technique **Edgewise**, l'égression d'une seule dent est relativement facile, contrairement à la technique par aligneurs. Cependant, cette action a en réponse une réaction d'ingression sur les dents adjacentes, pouvant entraîner des bascules du plan d'occlusion plus ou moins transitoire.

En technique par **aligneurs**, des taquets postérieurs d'égression, horizontaux à biseau gingival peuvent être placés. Des accessoires type boutons et élastiques de tractions intermaxillaires sont des accessoires utilisables pour accompagner le mouvement d'égression postérieure.

- Clear Aligner® : pour une égression d'un groupe de dent (figure 12) :

Elle est réalisée en collant des CA® POWER MFM 1 sur les dents à égresser et des boutons en plastique CA® sur les aligneurs.

Il existe cependant deux options pour le collage des boutons :

- Collage sur l'aligneur inférieur en ajoutant des points de rétention avec la pince T1.

- Collage sur la face palatine du même aligneur. Cette option offre plus de confort au patient. L'activation du mouvement se fait en changeant les élastiques 3 à 4 fois par jour. (19)

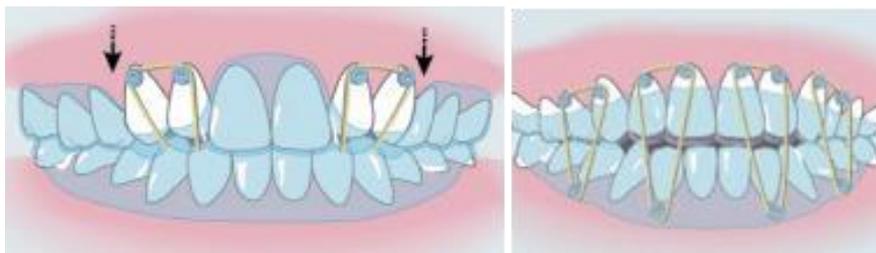


Figure 12 : Égression (antérieure ici) avec des élastiques intra-arcades (à gauche) et inter-arcades (à droite). (19)

- Essix®

La gouttière constitue un ancrage pour les élastiques. Après thermoformage, une large fenêtre est découpée pour accueillir la dent à égresser et permettre le collage d'un bouton sur la face vestibulaire de la dent. A partir d'attachements découpés dans la gouttière ou fabriqués grâce aux pinces de Hilliard, les TIM sont utilisés.

- Invisalign®

La difficulté principale réside dans le fait que la dent n'a pas une surface sur laquelle l'aligneur peut exercer une force pour engendrer le mouvement d'égression. **Le taquet optimisé d'égression (G7)** apporte cette surface dite « active ». L'aligneur est ainsi fabriqué de telle sorte que le contact soit forcé au niveau de cette surface. Dans le même temps, un contact lâche est situé au niveau des autres surfaces ce qui contrôle le sens de l'égression. Sur une molaire, le taquet optimisé d'égression G7 offre une égression égale ou supérieure à 0,5 mm, avec un risque de rotation inférieure à 5 degrés. (figure 13)

Association de mouvements

Le taquet multi-plans optimisé a été conçu pour améliorer la maîtrise des systèmes de forces complexes et prévenir les réactions indésirables. En effet un système de forces ne peut se réduire à engendrer des mouvements simples dans un seul plan. (figure 14)
Le mouvement peut être égal ou supérieur à 0,5 mm d'égression ou d'ingression et jusqu'à 5° en rotation.



Figure 13 : Égression d'une molaire avec taquet d'égression optimisé. Source : Académie Invisalign®, 2019.



Figure 14 : Exemple d'une incisive latérale présentant un taquet multi-plans (égrossion, version, rotation) optimisé sur la face vestibulaire de la latérale et un point de pression sur la face palatine de l'aligneur. Source : Académie Invisalign, 2019

2- L'ingression antérieure

C'est un mouvement qui tend à enfoncer la dent dans son alvéole à l'aide d'une force axiale en direction apicale. (figure 15)

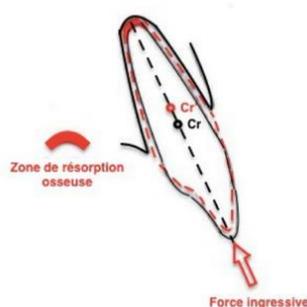


Figure 15 : Mouvement d'ingression. (16)

En technique **Edgewise**, une courbe occlusale maxillaire accentuée et une courbe de Spee mandibulaire inversée sur l'arc sont des stratégies pour réaliser une ingression antérieure, en gardant à l'esprit qu'une égression réactionnelle dans la zone prémolaire est présente. Des accessoires (transpalatin, FEO, minivis) permettent si besoin de maîtriser ces effets.

En technique par **aligneurs**, un contact serré au niveau du bord libre (incisive) et une zone de pression (incisives et canines inférieures) sont capables d'initier le mouvement d'ingression. La quantité d'ingression souhaitée peut être individualisée sur chaque dent, afin d'aligner les collets gingivaux ou corriger une bascule du plan d'occlusion. Les zones de pression (figure 16) permettent de rapprocher la résultante des forces selon l'axe longitudinal de la dent, optimisant l'ingression.

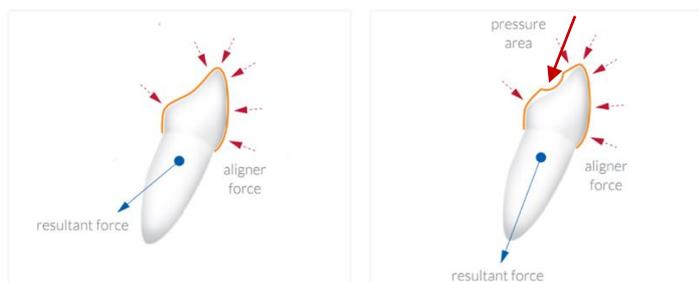


Figure 16 : Initiation d'une force ingressive par contact serré entre aligneur et zones de pression. Source : Académie Invisalign, 2019.

- Clear Aligner (CA) ® :

Intrusion d'une dent antérieure

Le CA® Clear Aligner est confectionné de telle sorte qu'une fois l'intrusion nécessaire terminée, la dent arrête son ingression.

Le CA® Hard est moulé sur le modèle original sans effectuer de changement puis :

- deux boutons sont appliqués sur l'aligneur en vestibulaire et en lingual au niveau de la gencive marginale de la dent.
- deux rainures de 1,5-2 mm de profondeur sont faites au niveau du bord incisif avec une fraise de 1 mm de diamètre pour y accrocher les élastiques. (figure 17)

Le mouvement est activé en changeant les élastiques (1/8 " et 4,5 oz) 3 à 4 fois par jour.

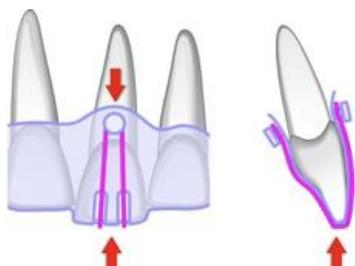


Figure 17 : Intrusion d'une incisive centrale (20)

Cas de supraclusion antérieure

Les Power Grips 8 (Build-Up Anterior Small ou BUAS) et 9 (Build-Up Anterior Large ou BUAL) permettent d'effectuer le mouvement d'ingression en cas de supraclusion antérieure. Sur les faces palatines, les BUAS sont collés sur les incisives latérales supérieures et les BUAL sur les incisives centrales supérieures à une distance de 2 mm du bord incisif.

Le praticien effectuera un ajustement de telle sorte que les incisives inférieures entrent en contact avec les quatre CA® Power Grips. Ces derniers facilitent la correction de la supraclusion par un contact antérieur majoré, et la désocclusion des dents postérieures facilite leur égression. Ils peuvent être combinés avec les Clear Aligner Hard®. Il peut aussi utiliser Clear Aligner Soft® et Medium® qui couvriront le CA® Power Grip et offriront un confort esthétique. En utilisant la pince TIP1, le praticien ajoutera des points de rétention interdentaires au niveau des molaires, à 2 mm environ de la ligne gingivale. (figure 18)

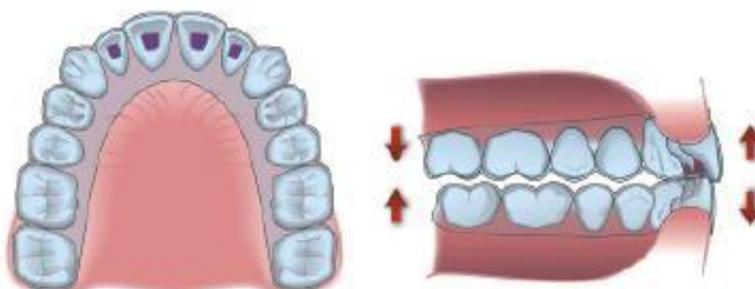


Figure 18 : Désocclusion molaire pendant le mouvement d'ingression (20)

- Essix®

Pour Sheridan, l'utilisation d'une gouttière dans une première phase de traitement permet de diminuer la difficulté du cas et donc de faciliter l'étape d'ingression en multiattaches. Une gouttière d'intrusion est possible avec la réalisation d'une fenêtre de part et d'autre de la dent extrusée, recouverte d'un élastique qui passe par le centre de la face occlusale.

De même, sur le modèle de travail en plâtre, le praticien peut ajouter de la résine acrylique sur la dent cible. Puis, la pince « Micro-ramp Thermoplier » #82560 est utilisée pour réaliser une encoche de 1 à 2 mm sur le bord incisif de la dent cible afin de créer une force intrusive (figure 19). (20)

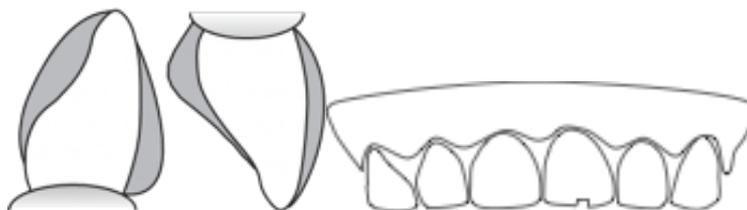


Figure 19 : Encoche de 1 à 2 mm pour réaliser une ingression. (21)

Ce procédé donne de bons résultats pour une ou deux dents mais, au-delà, un problème de rétention de l'aligneur peut apparaître.

- Invisalign®

Ingression d'une dent

Un contact serré au niveau du bord libre des incisives et une zone de pression sont capables d'effectuer un mouvement d'ingression contrôlé. Les autres dents servent d'ancrage, des taquets d'égression peuvent être associés.

Cas de supraclusion antérieure

L'effet d'ingression antérieure engendre un effet réactionnel d'égression au niveau prémolaire et de désinsertion des aligneurs. Des taquets optimisés sont positionnés sur les prémolaires pour créer un ancrage suffisant et contrer cette désinsertion.

Sur les faces palatines des incisives supérieures, des rampes d'occlusion ou « bite ramps » peuvent être ajoutées pour réaliser une désocclusion des dents postérieures. Ceci facilite le nivellement de la courbe de Spee et l'égression postérieure. Leur position verticale est ajustée à chaque étape de traitement de manière à maintenir ce contact antérieur prématuré, à l'image des cales rétroincisives. La profondeur de ces rampes virtuelles varie en fonction du surplomb, pouvant aller jusqu'à **3mm**. Au-delà, il est faisable de recouvrir des cales rétroincisives réelles par les aligneurs.

Si un décalage de classe II avec un surplomb augmenté est présent, des TIM de classe II favorise la propulsion et le contact avec ces rampes d'occlusion, prévenant l'interposition des dents mandibulaires en arrière de ces rampes. A noter que la technologie des zones de pression est incompatible avec la mise en place simultanée de rampes d'occlusion et de taquets palatins. (figure 20)



Figure 20 : Apport des fonctionnalités G5 puis G7 pour traiter les supraclusions. Académie Invisalign, 2019.

3- Le torque antérieur

Il s'agit d'un mouvement de racine où le centre de rotation se trouve au niveau de la couronne. (figure 21)



Figure 21 : Mouvement de torque (22)

En **technique d'arc droit**, le torque antérieur est prescrit dans la gorge du bracket, et son expression se fait au fur et mesure que le diamètre des arcs rectangulaires augmente. Un torque supplémentaire peut être inséré directement au niveau du fil par des plicatures de 3^{ème} ordre. Le torque prescrit n'est jamais totalement exprimé, puisqu'il persiste un jeu dans la gorge du bracket avec le fil.

- Clear Aligner®

Le CA Power Grip 4 (Force Application Labial – FALA) et le CA Power Grip 5 (Force Application Lingual – FALI) permettent la correction du torque jusqu'à 5°. Ils sont collés, après la prise de l'empreinte, sur les incisives et canines à proximité de la gencive marginale. Un espace est créé dans le sens du mouvement avec la résine Blue-Blokker®.

- s'ils sont collés sur la face vestibulaire, ils augmentent le torque corono-vestibulaire,
- s'ils sont collés sur la face linguale, ils réduisent le torque corono-vestibulaire.

Le CA Power Grip 4 est plus grand et peut être collé sur les faces vestibulaires des incisives supérieures et des canines. Le CA Power Grip 5 peut être collé sur les faces vestibulaires des incisives latérales supérieures et des incisives inférieures, sur les faces linguales de toutes les dents du bloc incisivo-canin. (figure 22)

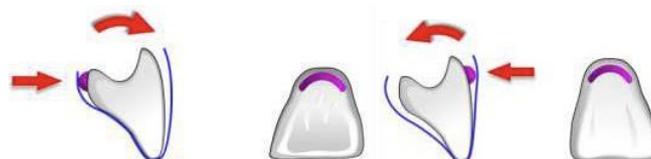


Figure 22 : Mouvement de torque avec les CA Power Grip 4 et 5 (23)

Néanmoins, certaines dents ne présentent pas un espace suffisant pour le collage de ces Power Grip. Dans ce cas, CA® TIP Plier 4 est utilisé pour effectuer des points d'activation. Il est nécessaire d'ajouter la résine Blue-Blokker® avant la fabrication des aligneurs, pour créer de l'espace sur la face opposée. (figure 23)

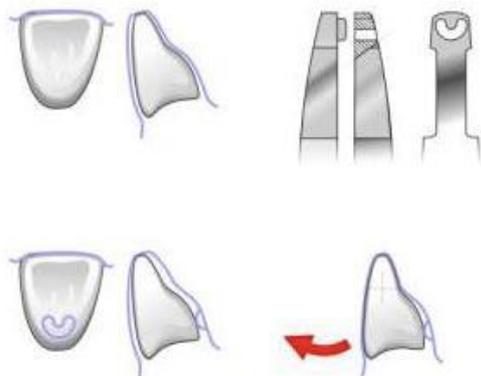


Figure 23 : Mouvement de torque avec la pince Tip 4. (23)

- Essix®

Pour un mouvement de torque radiculo-vestibulaire, le modèle de travail est préparé en plaçant un ergot vestibulaire et une épaisseur de composite sur le tiers incisif de la surface palatine et inversement au niveau gingival. Si le but est d'obtenir un mouvement de racine strict, le bord incisif de la dent cible est recouvert de plastique sur une hauteur de 2 mm et donc immobilisé. Ce capuchon en plastique maintient le bord incisif en place pendant que le mouvement de torque de la racine s'exprime. (figure 24)

L'intérêt par rapport à un bracket est que la distance entre les deux points d'application n'est pas limitée aux dimensions d'un bracket, mais à la dimension de la couronne dentaire. En revanche, la rigidité, et par conséquent les forces du systèmes sont plus faibles.

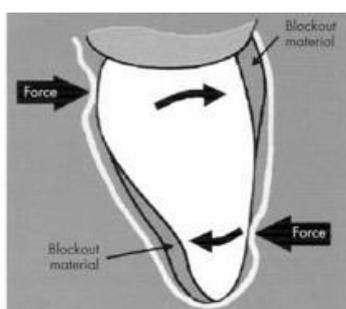


Figure 24 : Mouvement de torque radiculo vestibulaire. (12)

- Invisalign®

Le torque radiculo-palatin est induit par un couple de force appliqué par des renforts au niveau occluso-palatin et cervico-vestibulaire des aligneurs. L'objectif étant de pouvoir obtenir non seulement un mouvement de redressement coronaire mais aussi radiculaire avec un centre de rotation le plus coronaire possible par rapport au centre de résistance de la dent. Pour prévenir le jeu entre l'aligneur et la dent, une modification de la forme de l'aligneur, les Powers ridges (PR), ont été proposés par Align Technology®. Ils permettent de produire un système de forces adapté au rétablissement du contact intime aligneur/dent. (figure 25 et 26)



Figure 25 : Action du Power Ridge : Académie Invisalign, 2019 (à gauche) ;

Figure 26 : Pince Hu-Friedy « Clear Collection » pour réalisation soi-même des points de pression (24) (à droite).

4- Le mouvement de version

Avec les aligneurs, l'application d'une force en un point de la couronne en direction vestibulaire ou linguale est suffisante pour initier ce mouvement grâce à un contact serré aligneur/dent, sans nécessité d'auxiliaires. La couronne et la racine se déplacent simultanément mais en sens opposé. Le mouvement final est une bascule autour de l'axe de rotation. (25)

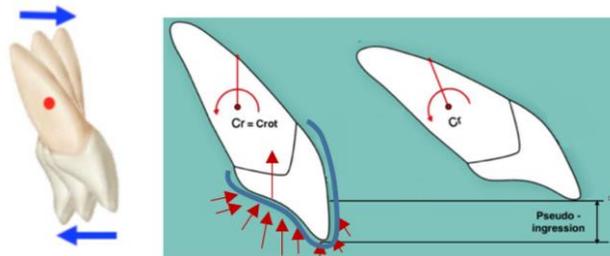


Figure 27 : Mouvement de version incontrôlée et pseudo-ingression (16).

- Essix®

Un point de pression entre le centre de résistance et la limite occlusale de la dent est créé. Plus ce point d'application est placé loin du centre de résistance, plus l'effet de version est marqué. On ajoute une fenêtre du côté où la dent doit être versée, afin de permettre le mouvement de la limite occlusale. L'aligneur doit bloquer la dent au niveau cervical évitant ainsi tout mouvement parasite.

- Clear Aligner®

Selon le cas, trois options sont possibles :

- le CA® Bubbles : sur le même set-up, est réalisé un 4^{ème} aligneur qui possède une bulle dans le sens du mouvement de version désirée.
- CA® Bubbles Activable : avant que CA®-hard ne soit moulé par pression, un espace peut être créé dans le sens de la version souhaitée, de sorte que le praticien puisse créer une bulle d'activation avec la pince CA Tip 1. (figure 28)

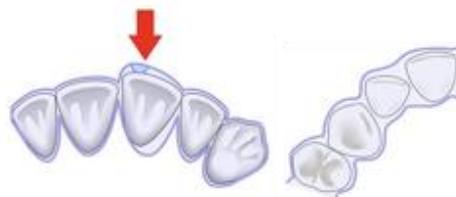


Figure 28 : CA® Bubbles et CA® Bubbles activable (23)

- la pince CA Tip 3 : elle est utilisée pour les versions vestibulo-linguales des incisives. L'activation est effectuée près du bord incisif. Il est nécessaire de créer un espace pour ce mouvement avec la résine BLUE-BLOKKER®. (figure 29)

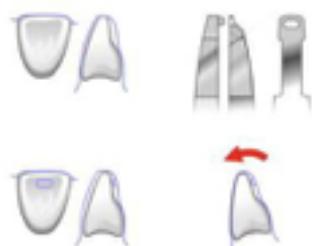


Figure 29 : Mouvement de version avec la pince Tip 3 (23)

- Invisalign®

Une seule force appliquée à la couronne dentaire est suffisante pour effectuer ce mouvement, par un contact serré aligneur/dent, sans recours à des auxiliaires.

Dans le cas d'incisives palatoversées, la vestibuloversion est réalisée en premier lieu, avant l'ingression et la rétraction incisive. Ceci est analogue au traitement multattaches.

IV. Revue Systématique

1. Contexte de l'étude

Traiter une supraclusion importante peut constituer un enjeu thérapeutique quelle que soit la technique orthodontique choisie. Un diagnostic précis est une condition préalable indispensable, afin d'établir un plan de traitement cohérent et en adéquation avec les objectifs initialement fixés. La supraclusion peut être plus ou moins sévère, d'étiologies variées et s'inscrire dans un schéma dysmorpho-fonctionnel plus global.

Parallèlement à cela, l'utilisation des aligneurs est en plein essor et constitue un outil thérapeutique à part entière. Grâce aux différentes avancées de la technique, ils ne sont plus seulement indiqués que pour des cas d'alignements simples, mais pour des cas de plus en plus complexes, dans lesquels s'inscrivent les différentes formes de supraclusion.

La société Align Technology® estime que 90% des cas peuvent être traités par Invisalign®, avec trois millions de cas traités à travers le monde. La littérature s'est alors logiquement intéressée à cette technologie, que l'on peut considérer comme « révolutionnaire ».

L'analyse de la prédictibilité et de l'efficacité des mouvements en utilisant les aligneurs constitue un des sujets majeur de recherche clinique, la technique étant basée sur un modèle prospectif : **le set-up virtuel dynamique** en est l'image accessible au praticien lors du suivi du traitement, aligneur après aligneur.

Nous avons donc voulu confronter la problématique de la supraclusion à cette analyse de prédictibilité et d'efficacité des aligneurs, avec les considérations biomécaniques préalablement évoquées. Et nous avons comparé cette technique aux traitements fixes, dont l'efficacité de traitement est établie de plus longue date. Ainsi, notre objectif est de mettre en évidence les capacités et les limites actuelles de la thérapeutique orthodontique par aligneurs, afin de poser les bonnes indications, dans le but de traiter les supraclusions de manière efficace, reproductible et stable dans le temps.

2. Objectifs de l'étude

L'objectif principal de cette revue était d'évaluer l'efficacité et la précision de la thérapie par aligneurs, dans le cadre du traitement de la supraclusion. Les mouvements étudiés étaient l'égression postérieure, l'ingression antérieure, la version coronaire et le torque antérieur. Une comparaison aux traitements multiattaches a été effectuée. Les notions de forces et moments délivrés par les aligneurs, ainsi que la problématique de la récurrence ont également été abordées.

3. Matériels et méthodes

a. Méthode de recherche des études

Une revue systématique a été effectuée à partir des bases de données bibliographiques suivantes : **Pubmed, Scopus, Google Scholar et Cochrane Library**. Cette recherche a été complétée par une recherche manuelle portant sur la bibliographie des articles initialement sélectionnés. Les recherches ont été réalisées par un seul opérateur dans chaque base de données.

b. Critères d'inclusion

▪ Type d'études

Les publications sélectionnées devaient nécessairement disposer d'un résumé accessible directement sur la base de données utilisée. Les articles en anglais ou en français ont été inclus. Les méta-analyses, les revues systématiques, les essais cliniques randomisés ou non, les études de cohorte et les études avec groupes contrôles ont été retenus. Les études in-vitro ont été utilisées pour l'analyse biomécanique des forces délivrées par les aligneurs.

▪ Type de participants

Aucune restriction concernant l'âge des patients n'a été émise lors de la sélection.

▪ Type d'intervention

Les articles qui ont été retenus étudiaient l'efficacité, la précision et la prédictibilité des mouvements dentaires chez des patients traités par aligneurs, quel que soit le système utilisé. Ces mouvements devaient être en lien avec le traitement de la supraclusion : version et torque antérieur, égression postérieure et ingression antérieure. Ces articles devaient avoir une méthodologie claire et suffisamment décrite, avec une analyse statistique appropriée.

c. Critères d'exclusion

Les articles de plus de 15 ans, écrits en une autre langue que le français ou l'anglais ont été exclus. Les études relatant de cas syndromiques, ou orthodontico-chirurgicaux, les études de cas isolés, les études expérimentales sur l'animal, les débats et opinions d'auteurs ont également été exclus.

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Articles récents et originaux (2005-2019)	Etudes sur patient avec malformation crânio-faciale et syndromes sévères
Etudes prospectives ou rétrospectives, revues systématiques, méta-analyses, in vitro	Etudes avec traitement orthodontico-chirurgical
Etudes sur les aligneurs orthodontiques quelle que soit la technique	Etudes de cas
Etudes des mouvements relatifs au traitement de la supraclusion : ingression antérieure, contrôle du torque antérieur et vestibuloversion, égression postérieure	Débats et opinions d'auteurs
Etudes avec matériels et méthodes suffisamment décrits	Résumés d'articles
Etudes avec analyse statistique adéquate	Etudes sur l'animal

Figure 30 : Critères d'inclusion et d'exclusion

d. Stratégie et équation de recherche

Une recherche bibliographique a été effectuée sur **Pubmed, Scopus, Google Scholar et Cochrane Library, les études allant de décembre 2005 à décembre 2019.**

L'enjeu a été de trouver une équation de recherche étudiant les mouvements dentaires mis en jeu dans le traitement de la supraclusion.

Il n'a pas fallu omettre certains articles qui traitaient du sujet de manière plus globale (certaines études analysaient d'autres mouvements ou aspects qui ne nous intéressaient pas pour traiter les supraclusions) ou plus spécifique (traitant une partie des notions abordées).

Les références bibliographiques des articles originaux ont été entrecroisées afin de retrouver des études supplémentaires.

Des recherches manuelles ont été réalisées dans un certain nombre de revues :

- International Orthodontics,
- Journal of Clinical Orthodontics,
- L'Orthodontie Française,
- Revue d'Orthopédie Dento-Faciale,
- American Journal of Orthodontics,
- The Angle Orthodontist.

Les essais cliniques en cours de réalisation et non publiés ont été recherchés sur le site www.clinicaltrials.gov à l'aide des mots clés « aligners », « Invisalign ».

L'équation de recherche utilisée dans les bases de recherches était :

(Clear aligner OR Invisalign) and (accuracy OR effectiveness OR efficacy OR efficiency OR outcome OR predictability).

Avant toute inclusion dans notre étude, les articles ont été sélectionnés par leur titre, puis leur résumé. De cette manière, plusieurs listes ont été réalisées :

- ⇒ **Liste 0** : liste initiale obtenue grâce à l'équation de recherche.
- ⇒ **Liste 1** : liste correspondant à la sélection par le titre : celui-ci permettait de penser que l'article en question correspondait au thème de recherche. A cette étape, les doublons provenant des différentes bases de données étaient éliminés et non inclus.
- ⇒ **Liste 2** : liste correspondant à la sélection par le résumé, une fois l'ensemble des résumés (et a fortiori les articles correspondants) non liés à notre thème, éliminés.

⇒ **Liste 3 :**

- articles issus de la liste 2,
- articles issus de la recherche manuelle,
- bibliographie de l'ensemble des articles obtenus dans la liste 2,

e. Collecte des données

Une recherche bibliographique a été entreprise. La première sélection s'est faite après lecture des titres et des résumés, et les doublons ont été éliminés. Puis les articles pertinents ont été conservés après une lecture plus approfondie.

Dans la partie « résultats », nous avons établi les caractéristiques et données essentielles à travers un tableau synthétique.

Les informations collectées dans les articles finalement inclus ont été :

- Auteur/Titre/Date de publication
- Type d'étude
- Taille de l'échantillon
- Âge des participants
- Type d'intervention
- Résultats des critères de jugement principaux et secondaires

Le système **PICO** a été utilisé pour extraire les différentes données des articles sélectionnés. Ainsi, les données concernant la population (participants), l'intervention (ou l'exposition pour les études observationnelles), les éléments de comparaison et les résultats ont été révélés.

f. Evaluation de la qualité des études incluses

L'évaluation de la qualité des études incluses dans cette étude a été faite selon les grades de l'HAS (2013),

- un fort niveau de preuve correspond à une étude dont :
 - le protocole est adapté pour répondre au mieux à la question posée,
 - la réalisation est effectuée sans biais majeur,
 - l'analyse statistique est adaptée aux objectifs,
 - la puissance est suffisante ;
- un niveau intermédiaire est donné à une étude de protocole similaire, mais présentant une puissance nettement insuffisante (effectif insuffisant ou puissance a posteriori insuffisante) et/ou des anomalies mineures ;
- un faible niveau de preuve peut être attribué aux autres types d'études.

Il est d'usage d'associer un grade des recommandations au niveau de preuve fourni par la littérature.

Ainsi, nous avons classé les articles comme indiqué dans le tableau suivant :

NIVEAU DE PREUVE SCIENTIFIQUE FOURNI PAR LA LITTERATURE	GRADE DES RECOMMANDATIONS
<u>Niveau 1 :</u> - Essais comparatifs randomisés de forte puissance - Méta-analyse d'essais comparatifs randomisés - Analyse de décision basée sur des études bien menées	A Preuve scientifique établie
<u>Niveau 2 :</u> - Essais comparatifs randomisés de faible puissance - Etudes comparatives non randomisées bien menées - Etudes de cohortes	B Présomption scientifique
<u>Niveau 3 :</u> - Etudes cas-témoins	C
<u>Niveau 4 :</u> - Etudes comparatives comportant des biais importants - Etudes rétrospectives - Séries de cas - Etudes épidémiologiques descriptives (transversales, longitudinales)	Faible niveau de preuve

Figure 31 : Evaluation de la qualité des études incluses selon les grades de l'HAS

4. Résultats

Après élimination des articles ne correspondant pas aux critères d'inclusion, la recherche a identifié **35 articles** comme finalement pertinents. La figure 32 correspond à l'organigramme relatif à la réalisation de la revue de la littérature.

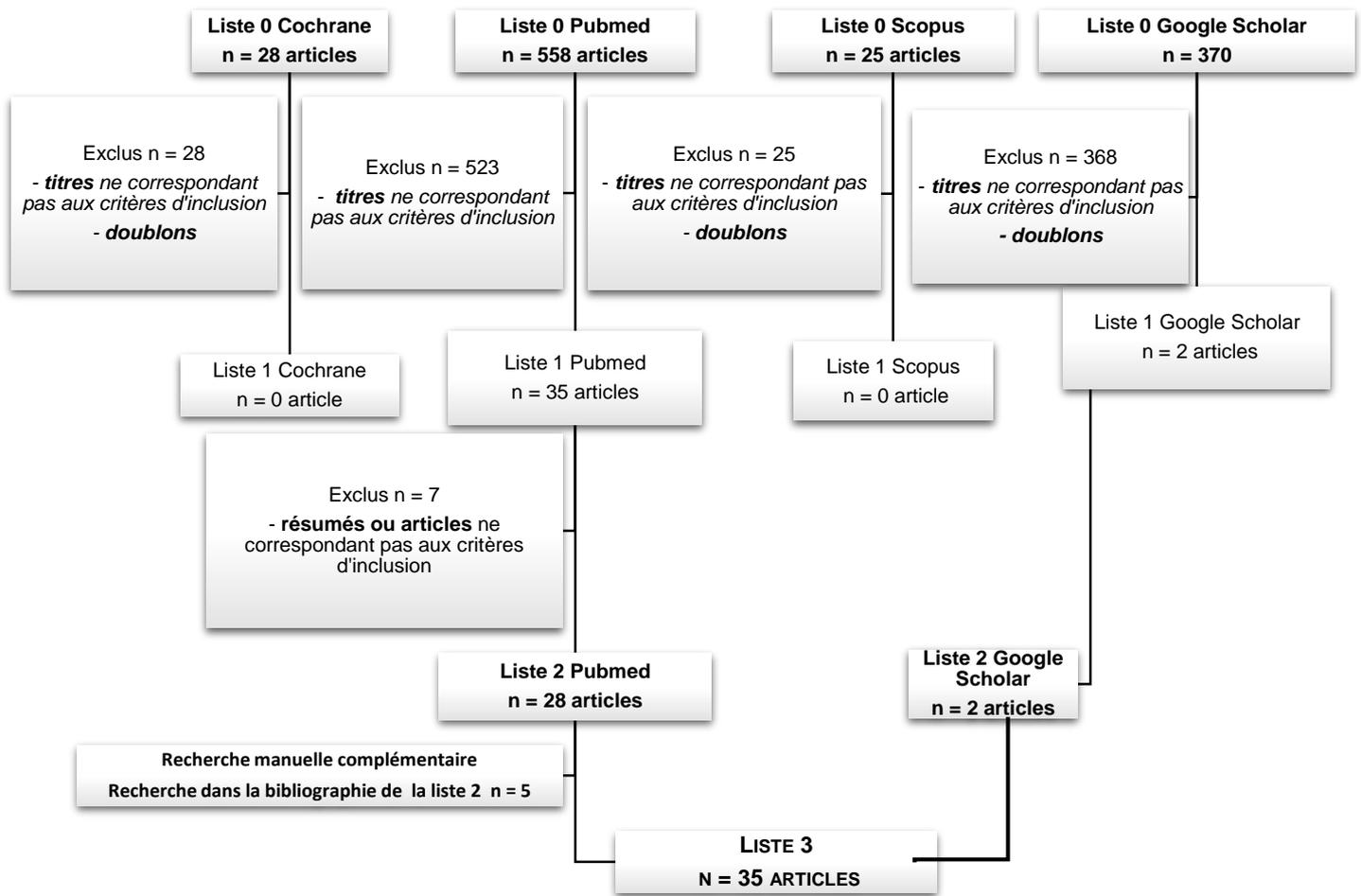


Figure 32 : Revue de la littérature : Organigramme.

a. Description des études

La revue de la littérature effectuée a mis en évidence différents types d'études :

- Six essais in vitro étudiant les forces et moments délivrés par les aligneurs.
- Treize études rétrospectives.
- Sept études prospectives.
- Neuf revues systématiques.

Ce qui fait un total de trente-cinq articles inclus. Les études cliniques ont toutes été réalisées chez des patients hors croissance.

Le détail des articles se retrouve en figure 35 sous la forme d'un tableau récapitulatif complet dans lequel les articles sont classés par thèmes abordés.

La figure 33 suivante présente la répartition des articles par année :

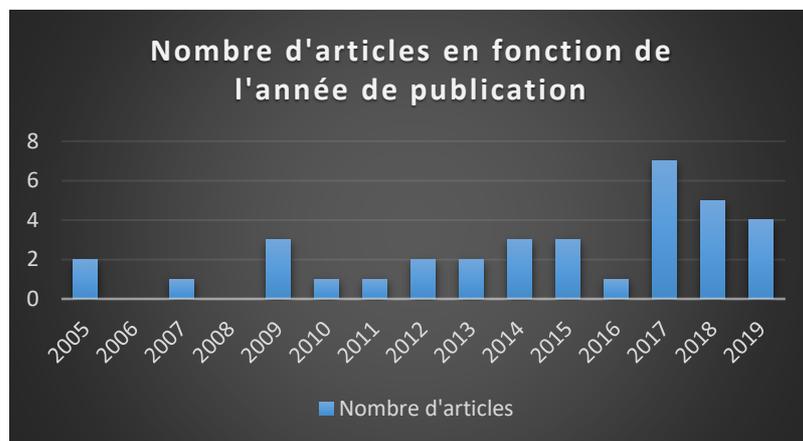


Figure 33 : Répartition du nombre d'articles par année

La figure 34 expose l'ensemble des études utilisées dans cette revue de la littérature. Le grade des études y est également associé pour chacun des articles en fonction des critères de gradation précédemment définis, tirés de l'HAS :

<u>Etude</u>	<u>Grade (puissance de l'étude)</u>
Buschang, 2015 (26)	B
Djeu, 2005 (27)	B
Kuncio, 2017 (28)	B
Kassas, 2013 (29)	C
Grünheid, 2017 (30)	B
Hennessy, 2016 (31)	A
Gu, 2017 (32)	B
Hahn, 2009 (33)	C
Hahn, 2009 (34)	C
Hahn, 2010 (35)	C
Gao, 2017 (36)	C
Liu, 2018 (37)	C
Iliadi, 2019 (38)	A
Kravitz, 2009 (39)	C
Krieger, 2011 (40)	C
Drake, 2012 (41)	B
Krieger, 2012 (42)	C
Chisari, 2014 (43)	B
Simon, 2014 (44)	C
Khosravi, 2017 (45)	B
Charalampakis, 2018 (46)	C
Castroflorio, 2013 (47)	C
Simon, 2014 (48)	C
Zhang, 2015 (49)	C
Lombardo, 2017 (50)	C
Sfondrini, 2018 (51)	C
Tepedino, 2018 (52)	C
Lagravère, 2005 (53)	A
Rossini, 2015 (54)	A
Rossini, 2017 (55)	A
Zheng, 2017 (56)	A
Papadimitriou, 2018 (57)	A
Ke, 2019 (58)	A
Galan-Lopez, 2019 (59)	A
Papageorgiou, 2019 (60)	A

Figure 34 : Puissance des études incluses

Etudes	Type	Participants	Intervention	Résultats	Conclusion
Efficacité des aligneurs					
Buschang 2015 (26)	Essai clinique randomisé prospectif	27 patients	Invisalign seul Comparaison CC (Clincheck) final / Modèle final 3D (Score OGS)	- Réduction scores OGS CC final / Modèle final : 15 vs 24 déductions de points (p<0,05). - Différence pour l' alignement (1 vs 4 déductions), l' inclinaison bucco-linguale (3 vs 4 déductions), contacts occlusaux (3 vs 2 déductions) et relations occlusales (2 vs 4 déductions).	Mouvements verticaux sont les plus difficiles à corriger. Le CC final ne reflète pas l'occlusion finale obtenue avec précision.
Djeu 2005 (27)	Cohorte Rétrospective	96 patients (48 Invisalign 48 Multibagues) Traitements simples	Invisalign versus MB (multibague) Efficacité du traitement (Score OGS et indice de discordance)	- Scores OGS Invisalign < MB de manière significative (p<0,05) : 13 points en plus de perdus concernant l'inclinaison bucco-linguale, les contacts occlusaux, les relations occlusales et le surplomb. - Aucune différence pour le contrôle radiculaire, l'alignement dentaire et les rapports des crêtes marginales. - Succès de passage à la phase III de l'ABO pour Invisalign : 27% inférieur au groupe MB (21 % vs 48 %) - Durée de traitement : 1,4 ans (Invisalign) vs 1,7ans (MB)	- Invisalign reste inférieur au MB pour les contacts occlusaux et l'inclinaison bucco-linguale. - Pas de différence significative concernant le contrôle radiculaire, les contacts proximaux et l'alignement. - Traitement plus court avec Invisalign pour les cas simples.
Kuncio 2007 (28)	Rétrospective	22 patients	Invisalign versus MB Récidive à 3 ans (Score OGS)	- Score OGS post-traitement vs contention à 3 ans : Invisalign < MB concernant l'alignement total (p<0,05). - Récidive de l'alignement antérieur maxillaire : seulement concernant le groupe Invisalign.	Plus de récidence entre 1 et 3 ans dans le groupe Invisalign. Recouvrement non analysé.
Kassas 2013 (29)	Rétrospective Série de cas	31 patients	Invisalign seul Efficacité du traitement (Score OGS)	- Améliorations OGS score après traitement : toutes les catégories sauf les contacts occlusaux, les relations occlusales. - Améliorations OGS score pour l'alignement et l'inclinaison bucco-linguale, et le score total. => Taux échec à la phase III de l'ABO : 70.9%	- Invisalign recommandé pour les malocclusions légères à modérées, efficace dans l'alignement et l'inclinaison bucco-linguale. - Taux d'échec phase III ABO Invisalign > MB.
Hennessy 2016 (31)	Essai clinique randomisé prospectif	40 patients	Invisalign versus MB Analyse céphalométrique de l'incisive inférieure	- Quantité version incisive mandibulaire : Invisalign comparable au MB si encombrement < 4 mm et cl I squelettique. - Version aligneur : 3.4° ± -3.2° versus MB : 5.3° ± 4.3°, différence non significative (P=0.14).	Le MB pourrait produire plus de version des incisives mandibulaires lors de l'alignement mais différence non significatif.
Grünheid 2017 (30)	Cohorte Rétrospective	30 patients	Invisalign seul Comparaison CC final / Modèle fin 3D (Superposition) Significativité clinique : 0,5°-2mm	- Au maxillaire : différences trouvées pour toutes les dents exceptées les IL, C et PMI ; IC plus vestibulo-positionnées et plus occlusales avec insuffisance de torque radiculo-palatin. Dents postérieures : contrôle 3D insuffisant. - A la mandibule : différence de position significative entre prévue/réelle (les incisives sont plus occlusales). - Torque des 2 ^{èmes} molaires : seul résultat cliniquement significatif : excès d'inclinaison corono vestibulaire.	Différence entre occlusion prédite et réelle finale. Position radiculaire approximativement évaluée.

Gu 2017 (32)	Cohorte Rétrospective	96 patients (48 vs 48)	Invisalign versus MB Efficacité du traitement (Score PAR)	- Score PAR avec réduction > 30% : pas de différence post-traitement entre Invisalign (16.73) et MB (20.1) avec (p=0.457). - Amélioration importante (réduction de 22 pts PAR ou score final =0) : MB > Invisalign (45.8% vs 22.9%) avec P=0.015. - Durée de traitement : Invisalign 5.7 mois de moins que MB (P=0.004).	Invisalign et MB peuvent améliorer les malocclusions légères à modérées mais MB reste plus efficace pour apporter de plus grandes améliorations. Traitement Invisalign plus rapide.
Forces et moments dans la zone antérieure					
Hahn 2009 (33)	In Vitro	15 aligneurs	Version d'une incisive centrale : 3 matériaux (Ideal Clear®, Erkodur®, Biolon®) d'1 mm d'épaisseur	- Forces intrusives plus élevées lors de la version vestibulaire que palatine : morphologie dentaire en cause. - Biolon® a produit des forces plus fortes que les deux autres matériaux. Pour 0,15mm de déplacement : F_x (direction palatine ou vestibulaire) de -2,82 N à 5,42 N et F_z (force intrusive) : -0.14N à -2,3N en moyenne.	- Composantes d'inclinaison et d'intrusion s'associent dans le mouvement de version. - Dépendance géométrique des différentes forces intrusives. - Forces importantes pour l'inclinaison.
Hahn 2009 (34)	In Vitro	15 aligneurs	Version d'une incisive centrale : Influence de l'épaisseur 2 matériaux (Erkodur®, Biolon®) de 2 épaisseurs différentes (1 mm vs 0,8 ou 0,75 mm)	- Forces intrusives les plus élevées lors du déplacement vestibulaire. - Forces délivrées par les appareils épais > minces (P<0.0001) ; - Forces délivrées par Biolon® > Erkodur® (P<0.0001) quelle que soit l'épaisseur choisie. - Influence significative de l'épaisseur du matériau sur les forces délivrées.	- Forces mesurées importantes pour la version. En plus de l'épaisseur, le processus de thermoformage influence la force.
Hahn 2010 (35)	In Vitro	15 aligneurs	Torque sur une incisive centrale : 3 matériaux (Ideal Clear, Erkodur, Biolon) d'1 mm d'épaisseur pour un mouvement de 0,15 mm ou 0,8 mm	- Forces intrusives les plus élevées lors du déplacement coronovestibulaire, quel que soit le matériau. Les forces sont influencées par le matériau et la forme de la dent. - <u>Pour 0,15mm de déplacement en moyenne</u> : F_x : -1.89N à 0.11N ; F_z (composante intrusive) : -0.97N à -0.07N. - Si incrémentation augmente : majoration de la composante intrusive. - Force pour torque inférieure à la force d'un mouvement de version de par la rigidité au niveau occlusal de l'aligneur.	- Soulèvement de l'aligneur si l'incrémentaire augmente : mouvement coronaire et non radiculaire et force ingressive non souhaitée. - Couple de force faible dû à la souplesse de l'aligneur au niveau gingival. - Forces torque < forces version, en lien avec la localisation du point d'application des forces.
Gao 2017 (36)	In Vitro	18 groupes d'aligneurs	Influence de l'épaisseur et de la longueur du rebord gingival sur les forces délivrées sur une IC	- Influence de l'épaisseur de l'aligneur lors de la version palatine (P=0.011) mais surtout lors de l'intrusion (P=0.054). - F_x et F_z produites par aligneurs de 0.75 mm >> 0.5 mm de 1N supérieur lors de l'inclinaison (P=0.005) et de 2.8N lors de l'intrusion (P=0.047).	- Version impactée par la longueur du rebord marginal. - Intrusion davantage liée à l'épaisseur de l'aligneur (au niveau du bord gingival)

			<p>lors de la version et de l'intrusion Aligneurs PET-G® de 3 épaisseurs (0.5, 0.625, 0.75 mm) et 3 bords gingivaux de longueur différente (0-1, 3-4, 6-7 mm)</p>	<p>- Pas de différence entre les épaisseurs de 0.5 et 0.625mm et entre 0.625 et 0.75 mm.</p> <p>- F_x et F_z produites par bord 0-1 mm << 3-4 mm (P=0.003) et 6-7 mm (P=0.001) pour l'inclinaison palatine et l'intrusion (P<0,001).</p> <p>- Pas de différence statistiquement significative entre un bord de 3-4 mm et de 6-7 mm.</p>	<p>Variation des forces en fonction de l'épaisseur du matériau, longueur du rebord gingival, direction du mouvement et conception de l'aligneur. Prendre en compte les aspects biologiques et les forces occlusales.</p>
Liu 2018 (37)	In Vitro	55 aligneurs	<p>Relation entre quantité d'activation (0.1 à 0.2 mm), dents impliquées (incisives et canines) et ingression obtenue.</p> <p>Aligneurs Duran® de 0.8mm d'épaisseur 5 groupes (G0 à G4)</p>	<p>- Avec la même activation (0.2 mm) et des attaches rectangulaires sur PM et M1, les canines ont des forces d'intrusion significativement plus importantes si intrusion des canines seules qu'avec une intrusion simultanée des incisives et canines.</p> <p>- Les incisives ont reçu des forces similaires que l'intrusion des canines soit concomitante ou non.</p> <p>- Lors de l'ingression simultanée des incisives et canines, les forces sur les canines sont plus importantes.</p> <p>- Les PM1 : plus grandes forces extrusives lorsque l'intrusion des canines et des incisives sont simultanées.</p>	<p>Ces forces sont étroitement liées à l'activation, à la forme et à la position des attachements ainsi qu'au mouvement relatif des dents adjacentes.</p> <p>Ainsi si une ingression importante des canines est nécessaire, dissocier celle-ci de l'ingression des incisives.</p>
Prédictibilité des mouvements dentaires					
Kravitz 2009 (39)	Essai clinique prospectif	37 patients	<p>Invisalign seul Comparaison CC final / Modèle final 3D : mouvements des dents antérieures</p>	<p>- Précision moyenne générale et concernant l'intrusion : 41% ;</p> <p>- Ingression pure moyenne : 0.72mm tentée.</p> <p>- Intrusion : 44,7% au niveau des incisives centrales maxillaires, 46,6% au niveau des incisives centrales mandibulaires, 32,5% au niveau des incisives latérales.</p> <p>- Version corono-linguale (53%) > corono-vestibulaire (38%) ; générale : 44,7%.</p>	<p>Superposition réalisée sur les dents postérieures considérées comme fixes : limite des résultats.</p> <p>Pas de différences entre les dents maxillaires et mandibulaires.</p>
Krieger 2011 (40)	Rétrospective	35 patients	<p>Invisalign seul Comparaison CC initial / modèle initial et CC final / modèle final</p>	<p>Recouvrement antérieur :</p> <p>- différentiel prétraitement/ClinCheck initial : 0.3 ± 0.4 mm.</p> <p>- comparaison du modèle de fin de traitement /ClinCheck final : 0.9 ± 0.9 mm.</p>	<p>Surcorrection recommandée, réévaluation nécessaire quasi systématique, accessoires (attachements, TIM).</p>
Drake 2012 (41)	Essai clinique prospectif	52 patients 15 : port 1 semaine 37 : port 2 semaines	<p>Analyse avec CBCT des mouvements dentaires avec Invisalign</p>	<p>- Prédictibilité générale : 55%. 4.4 fois plus de mouvements dentaires orthodontiques au cours de la première semaine de port.</p> <p>- Pas de différence si port une ou deux semaines</p>	<p>Port hebdomadaire des aligneurs justifié.</p> <p>Influence de la qualité osseuse, la longueur de la dent, la localisation du centre de résistance de la dent et des facteurs systémiques.</p>
	Cohorte Rétrospective	50 patients	<p>Invisalign seul Comparaison modèles 3D avant et après</p>	<p>- Différence entre état initial et CC initial : 0.17 ± 0.38 mm pour le recouvrement.</p>	<p>Même conclusion que l'étude de 2011.</p>

Krieger 2012 (42)				- Différence entre état final et CC final : 0.7mm ± 0.87 mm pour le recouvrement. En moyenne, recouvrement final : 2.65 mm prévu mais 3.49 mm obtenu. 14.3% de de concordance entre le traitement prédit et réel.	Le recouvrement est le paramètre le moins prédictible ; la supraclusion est la malocclusion la plus difficile à traiter.
Chisari 2014 (43)	Essai clinique prospectif	30 patients	Invisalign seul Evaluation CBCT + Modèles	- 57% de la prescription du mouvement dentaires obtenu. - Plupart des mouvements obtenus durant la première semaine. -Relation cubique entre l'âge et le mouvement dentaire avec diminution du taux de mobilité entre 18-35 ans, légère augmentation de 35 à 50 ans et taux décroissant entre 50 et 70 ans (décroissance non retrouvée chez la femme : ostéoporose ?). - Si incrémentation de 0.25 mm : meilleure précision 62% vs 54% si incrémentation 0.5 mm.	Age et sexe influencent les résultats de manière complexe ; Corrélation négative entre la distance apex/centre de rotation et le mouvement, mais pas de relation avec la qualité osseuse retrouvée dans cette étude.
Simon 2014 (48)	Essai clinique rétrospectif	30 patients	Invisalign seul Comparaison CC / Modèles initiaux et finaux Evaluation des auxiliaires (attachements/Power Ridges), et de l'incrémentation	- Précision moyenne d'Invisalign : 59.3% - Torque >10° : 42.2% sans accessoires vs 51.5% avec Power Ridges vs 49.1% avec attachements ellipsoïdaux seuls. (entre 27,4% et 75,1%). - Différence significative entre le torque prédit et le torque réel.	Pas de relation retrouvée concernant le l'influence des Power Ridges ou des attachements. Nécessité de surcorrection + auxiliaires (Power Ridges ou attachements).
Khosravi 2017 (45)	Rétrospective multicentrique Série de cas	120 patients	Invisalign seul Céphalométrie avant et après traitement et analyse de la correction de la supraclusion	- Si recouvrement initial > 4 mm : réduction céphalométrique de 1.5 mm => La supraclusion est corrigée par vestibulo-version des incisives mandibulaires, puis ingression des incisives maxillaires et égression postérieure de 0.5 mm des molaires mandibulaires. - Ouverture mineure du plan mandibulaire : 0,5°.	Correction de la supraclusion essentiellement par version des incisives mandibulaires. Surcorrection, nivellement de la courbe de Spee et de Wilson et rampes d'occlusions nécessaires, TIM verticaux postérieurs, absences de contact au niveau antérieur lors de la prescription.
Charalampakis 2018 (46)	Rétrospective	20 patients	Invisalign seul Quantification mouvements obtenus Superposition sur les dents postérieures	- Intrusion maxillaire antérieure : imprécis et le moins prédictible avec différentiel de 1.5 mm entre le mouvement prédit et réel dont 1.1 mm de différence pour les incisives latérales maxillaires et 0.8 mm pour les incisives mandibulaires.	Difficulté de correction de la supraclusion, l'intrusion étant le mouvement le moins précis avec les aligneurs.
Contrôle du torque					
Castroflorio 2013	Prospective	9 patients	Invisalign seul Efficacité Power Ridges	Torque corono-palatin : - A T0 : axe coronaire de 20.95° (CC initial) vs 21.1° (modèle initial). - A T1 : axe coronaire de 10.55° (CC final) vs 10.53° (modèle final).	

(47)			Contrôle du torque Comparaison CC initial / Modèle final	=> En moyenne, 10.40° de torque souhaité dans la prescription vs 10.58° obtenu (P<0.0001).	Torque prédictible avec Power Ridges Perte de torque négligeable si correction 10°.
Simon 2014 (44)	Rétrospective	30 patients	Invisalign seul Torque antérieur avec attachements ou Power Ridges	- Moment moyen de 7.3Nmm pour le torque antérieur maxillaire, prédictible à 50.3%. - Potentialisation de l'efficacité du torque avec Power Ridges : 7.9Nmm vs 6.7Nmm avec attachements pour le même torque appliqué.	Forces appliquées dans des valeurs cohérentes avec la littérature.
Zhang 2015 (49)	Rétrospective	32 patients	Invisalign seul Mouvement dentaire antérieur au niveau coronaire/radiculaire CBCT et superposition 3D	Différentiel déplacement réel VS prédit : - Au niveau coronaire : 0.376 ± 0.041 mm (Mx) vs 0.398 ± 0.037 mm (Md). - Au niveau radicaire : 2.062 ± 0.128 mm (Mx) vs 1.941 ± 0.154 mm (Md).	Contrôle coronaire bon. Contrôle radicaire limité. Déplacements réalisés par inclinaisons dentaires.
Lombardo 2017 (50)	Rétrospective	16 patients	Invisalign seul Comparaison CC initial /final / Modèles	- 73.6% de prédictibilité - Version vestibulo-linguale : 72.9% (Inc maxillaires 64%, Inc md 86,1%, C maxillaires 54%, C md 66,4%)	Prédictibilité relative.
Sfondrini 2018 (51)	Rétrospective	25 patients	Analyse téléradiographique avant et après traitement (conventionnel VS autoligaturant VS Invisalign) Changement de la position de l'incisive centrale maxillaire 11^SnaSnp , (angle incisive supérieure et plan palatin) 11^Ocl (angle incisive et plan occlusal) I+TVL (distance du point le plus avancé vestibulaire de l'incisive supérieure par rapport à la ligne verticale vraie)	- Variation la plus élevée avec les brackets conventionnelles par rapport aux autoligaturants pour 11^SnaSnp (6.11° vs 5.64°) et pour 11^Ocl (6.88° vs 5.12°). > Données les plus faibles pour les aligneurs (5.13° et 4.60°, respectivement). - Pas de différences significatives cliniquement entre les différentes techniques (p>0.05), y compris concernant la valeur linéaire I+TVL.	Les appareils fixes conventionnels et autoligaturants présentent les variations de position incisive les plus importantes mais la différence avec les aligneurs n'est pas cliniquement significative. Le contrôle du torque antérieur est donc considéré comme bon.

Tepedino 2018 (52)	Cohorte Rétrospective	39 patients	Nuvola de Clear Aligner® Comparaison set up / modèles	Différence moyenne non significative entre set up et modèle final : entre 0.03° (IL Md) et 1.86° (IC Mx).	Aucune différence significative entre le torque prédit et final.
<u>Revue systématique</u>					
Lagravère 2005 (53)	Revue systématique	-	-	-	Pas de conclusion, absence d'essais cliniques à fort indice de preuve en 2005.
Rossini 2015 (54)	Revue systématique	11 études	Efficacité des mouvements dentaires avec les aligneurs	Mouvements verticaux peu prédictibles. Intrusion : 0,72 mm prévu : 45 % de précision au maxillaire, 45% à la mandibule (et 33% au niveau des latérales maxillaires), extrusion 30% de prédictibilité : mouvement le moins prédictibilité. Hétérogénéité des preuves disponibles (63% à biais élevé). Prédictibilités : -Fortes : alignement et nivellement des arcades, angulation bucco-linguale postérieure, intrusion antérieure -Faibles : contrôle du torque, extrusion	Aligneurs effectifs dans le nivellement et l'alignement ; intrusion antérieure correcte, moins dans la gestion du torque antérieur. Mais problème d'hétérogénéité, de nombre et de qualité des études.
Rossini 2017 (55)	Revue systématique	20 études dont 3 de haute qualité	Efficacité des mouvements dentaires par aligneurs	- Scores OGS : MB > Invisalign pour l'inclinaison bucco-linguale. - Inclinaison corono-linguale (53%) plus précise que l'inclinaison corono-vestibulaire.	Même conclusion que 2015 Nouvelles preuves disponibles : trois essais cliniques randomisés de grade A et une qualité globale améliorée Aucune donnée significative sur l'intrusion réalisée par aligneurs.
Zheng 2017 (56)	Revue systématique et méta- analyse	4 études	Efficacité des mouvements dentaires par aligneurs	- Méta-analyse : temps de traitement Invisalign < MB (1,4 ans vs 1,7 ans) - Temps au fauteuil : MB, +65% visites, +50% temps au fauteuil et + urgences. - Complexité du cas : Invisalign < MB. - Efficacité : Scores OGS Invisalign < MB : inclinaison bucco-linguale, contacts occlusaux, relations occlusales et surplomb. - Stabilité à long-terme (récidive antérieure) : Invisalign < MB.	Aligneurs avantageux pour la durée du traitement et le temps au fauteuil dans les cas de difficultés faibles à modérées. Manque de preuve pour conclure sur une supériorité d'un système par rapport à l'autre concernant l'efficacité et la stabilité.
Papadimitriou 2018 (57)	Revue systématique	22 études	Efficacité des mouvements dentaires par aligneurs	- Précision Invisalign : non fiable pour le contrôle du torque antérieur et incertain pour les mouvements verticaux. - Efficacité Invisalign : bénéfique si malocclusions légères à modérées sans extraction ; gestion plus difficile de la supraclusion et des cas plus complexes. - Comparaison au MB : aucune différence significative pour la version incisive inférieure, traitement plus court, mais moins fiable pour le contrôle du torque et les contacts occlusaux. - Récidive plus importante.	Bonne gestion des malocclusions simples à modérées chez les patients hors croissance sans extractions avec les aligneurs. Les limites dans la dimension verticale sont significatives. Pas de recommandations cliniques claires.

Ke 2019 (58)	Revue systématique et méta-analyse	8 études	Efficacité des mouvements dentaires par aligneurs Méta-analyse sur 353 participants dans chaque groupe (mais étude de Li de 2015 retirée de la littérature scientifique)	<ul style="list-style-type: none"> - Scores OGS Invisalign < MB : torque, contacts occlusaux mais aucune différence pour l'alignement, l'alignement des crêtes marginales, les contacts inter-proximaux. De manière globale : pas de différence concernant l'amélioration du score OGS. - Score PAR : Invisalign < MB : moins de grandes améliorations. - Version incisive : Invisalign < MB. - Récidive : Invisalign + de récurrences qu'en MB. - Durée traitement : Invisalign < MB. - Réussite à l'examen ABO : Invisalign < MB. 	Traitements fixes restent la référence, même s'il est possible de dire que les aligneurs sont une alternative possible et intéressante.
Galan Lopes 2019 (59)	Revue systématique	20 études	Efficacité des mouvements dentaires par aligneurs	<ul style="list-style-type: none"> - Sens vertical : Paramètre le plus dur à prédire, contrôler et corriger - Supraclusion corrigée par vestibuloversion mandibulaire, intrusion maxillaire réduite, égression postérieure de 0,5mm - Précision globale de 55 à 72%. - Contrôle torque : 50.3% et version non contrôlée constatée. 	L'expression du mouvement n'est pas complètement réalisée avec Invisalign. Le sexe et l'âge les affectent. Les résultats cliniques Invisalign < MB globalement.
Iliadi 2019 (38)	Revue systématique	13 études	Simulation sur modèles des déplacements dentaires avec les aligneurs > Etudes in vitro	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de différence significative concernant le rapport moment/force, fonction de l'épaisseur de l'aligneur (0.5 ; 0.625 ; 0.75 mm) : les forces > 20 Nmm. - Mouvements de torque et de translation purs sont les plus exigeants : un aligneur sans modification ne peut établir un couple de force requis. - Intrusion sensible à la configuration de la longueur des bords gingivaux par rapport à l'inclinaison, tandis que les aligneurs sans bords sont associés à une diminution des forces. 	Le comportement des aligneurs n'est pas affecté par les forces occlusales et les propriétés d'usure des aligneurs. L'épaisseur des aligneurs, établie entre 0,5 et 1mm, n'a pas un rôle majeur dans cet intervalle.
Papageorgiou 2019 (60)	Revue systématique et méta-analyse	11 études : 4 randomisées ; 7 non randomisées. 887 patients (446 vs 443)	Comparaison aligneurs/MB	<ul style="list-style-type: none"> OGS score utilisé : moins bon résultats avec les aligneurs qu'avec le MB, et plus de patients avec échec du traitement. Résultats hétérogènes concernant la durée de traitement. PAR index : pas de différence. (indice moins précis) Hétérogénéité des résultats concernant la durée de traitement. 	Le gold standard reste le traitement multiattaches, les aligneurs ne sont pas aussi performants.

Figure 35 : Récapitulatif des articles inclus dans la revue systématique

b. Systèmes étudiés

En analysant les articles utilisés dans cette revue en fonction des systèmes utilisés, le système Invisalign® est de loin le plus étudié, retrouvé dans 80% des articles au moins. (figure 36).

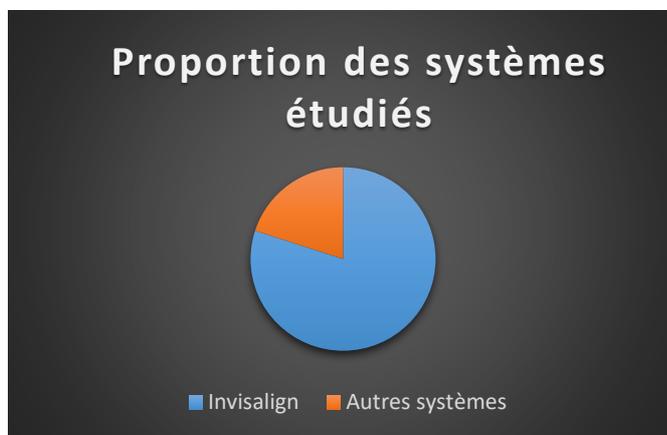


Figure 36 : Proportion des systèmes étudiés

c. Evaluation de l'efficacité intrinsèque des aligneurs

En 2005, aucune conclusion n'était possible concernant l'efficacité des aligneurs. (53) L'évolution de la technique associée à l'augmentation du nombre d'études réalisées a permis de mettre en évidence une **hétérogénéité des preuves** disponibles concernant les différents types de mouvements dentaires avec des **preuves fortes** concernant l'alignement et le nivellement des arcades mais de **faibles preuves** concernant d'autres paramètres, tels que le contrôle du torque et l'intrusion, où les résultats sont d'ailleurs parfois contradictoires.

Tout d'abord, l'analyse de l'occlusion finale des patients traités par Invisalign® ont des **scores plus faibles que l'occlusion prévue** par le ClinCheck®, après analyse des scores OGS (*Objective Grading System* de l'*American Board of Orthodontics*). Ces différences concernent l'alignement, l'inclinaison bucco-linguale, les contacts occlusaux et les relations occlusales. Selon Buschang et al, **les déplacements verticaux sont les mouvements les plus difficiles** (c'est-à-dire l'**intrusion** et l'**extrusion**). Le ClinCheck® ne reflète donc pas avec précision l'occlusion réelle du patient. (26)

Dans les cas de malocclusions **légères à modérées**, l'évolution de l'OGS score est toutefois positive : le traitement Invisalign® est **utile** (29), notamment en ce qui concerne l'alignement et l'inclinaison bucco-linguale (26,29,58). Ce dernier résultat est en contradiction avec l'étude de Djeu (27), qui relate un contrôle du torque et un alignement des crêtes marginales perfectibles.

Les limites de la technique dans la dimension verticales sont significatives. Aucune recommandations cliniques claires semblent toutefois établies, les résultats retrouvés sont hétérogènes et amènent à une interprétation (57). Mais la surcorrection dans le ClinCheck® final, les réévaluations, les différents accessoires (attaches, TIM...) sont suggérés pour atteindre les objectifs thérapeutiques (40,42). En fait, le contrôle au niveau coronaire est globalement correct contrairement au contrôle radulaire. (27)

d. Evaluation de l'efficience

Elle concerne le rendement de l'appareillage (temps au fauteuil, durée de traitement, prix...).

La **durée de traitement** dans la technique par aligneurs est significativement plus courte que celle des appareils fixes (27,30,32,56,59) :

- 1,4 ans vs 1,7 ans selon Djeu ; 11,5 mois vs 17 mois selon Buschang.
- le traitement est plus court, de 5,7 mois en moyenne. (32)

Cette donnée est toutefois à pondérer comme le montre Papageorgiou, dont l'analyse de la littérature révèle des résultats divergents, s'expliquant par des **biais de confusion** : le choix d'un appareil seul ne suffit pas à dicter la durée du traitement et d'autres facteurs doivent être pris en compte, comme la difficulté intrinsèque du traitement, les cas avec extractions, le nombre d'aligneurs et de réévaluations. (60)

Zheng et al ont montré que les aligneurs présentaient un avantage considérable vis-à-vis du temps passé au fauteuil. (56)

→ Ainsi les aligneurs ont été recommandés principalement dans les malocclusions simples à modérées (29,32,54). Le traitement multiattaches nécessite plus de visites (+65%), plus de temps au fauteuil (+50%) et engendre plus d'urgences. (26,56).

e. Quantification de la prédictibilité

La littérature fournit des valeurs variables concernant la prédictibilité des mouvements intéressant le traitement de la supraclusion.

- Prédictibilité générale :
 - Selon **Kravitz** : **41%** ; selon **Drake** : **55%** ; selon **Simon** : **59,3%** ;
 - Selon **Chisari** : **57%** ; selon **Lombardo** : **73.6%**. (39,41,43,48,50)
- Prédictibilité propre au recouvrement :
0,7 mm ± 0,87mm de différence concernant le recouvrement prévu et final. Pour 2,65 mm de recouvrement final prévu en moyenne, 3,49 mm sont finalement constatés. (42)
Si le recouvrement est supérieur à 4mm : réduction céphalométrique de **1,5mm sans accessoires**. Pour des patients hors croissance, l'essentiel de la correction se fait au niveau antérieur, avec un changement mineur au niveau postérieur et une ouverture de l'angle mandibulaire limité (+0,5°). La supraclusion est corrigée par vestibuloversion de l'incisive mandibulaire, ingression maxillaire et enfin par égression molaire mineure, mandibulaires essentiellement. (45)

La figure suivante (figure 37) présente la corrélation entre le recouvrement initial et le recouvrement final, avec une diminution globalement constante de **1,5mm**.

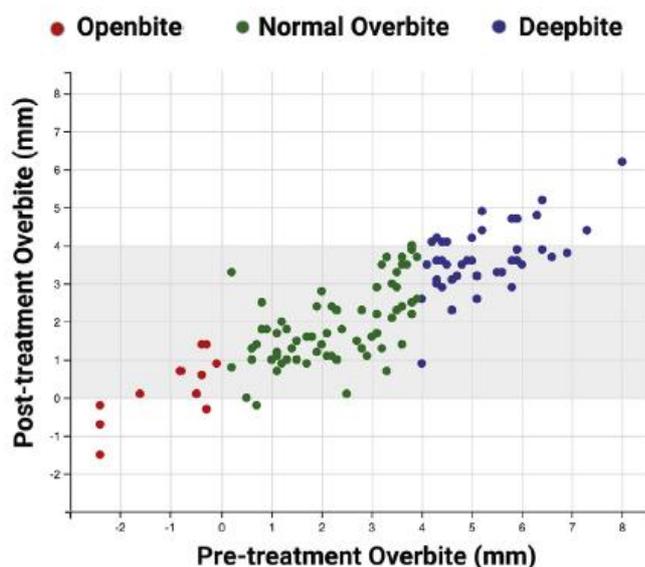


Figure 37 : Corrélation recouvrement initial et final (45)

- **Torque** : prédictibilité entre 42,2% et 50% : 51,5% en utilisant des Power Ridges contre 49,1% avec des attaches ellipsoïdes (48),
→ Sans la technologie Smartrack®, d'après Simon, il n'y a pas de différence entre les Power Ridges et les attaches ellipsoïdes. Une surcorrection est toutefois conseillée. (44)
L'étude de Tepedino présente des cas de gestion de torque allant jusqu'à 12,7° au maxillaire et 20,8° à la mandibule, ne présentant pas de différence significative avec le mouvement prévu. Castroflorio retrouve cette prédictibilité quasi-totale pour des cas simples. (52)
- **Versión vestibulo-linguale** : 72.9% de prédictibilité.
(incisives maxillaires 64% ; incisives mandibulaires 86.1% ; canines maxillaires 54% ; canines mandibulaires 66.4%). (50)
→ Pour des raisons anatomiques essentiellement, la version corono-linguale est plus prédictible (53%) que la version corono-vestibulaire (38%). (39)
- **Ingression antérieure** : la plus grande précision a été obtenue dans la zone antérieure pour les incisives centrales maxillaires (44,7%) et mandibulaires (46,6%). Les incisives latérales maxillaires ont la valeur la plus faible (32,5%).
En moyenne, **0,72mm d'ingression pure** été programmée. (39)
En comparant le Clincheck® initial avec le recouvrement initial réel, un différentiel de 0.2 ± 0.4 mm est retrouvé. Et entre le modèle de fin de traitement et le Clincheck® final, un différentiel de 0.8 ± 0.9 mm est trouvé.(40,42)
- **Egression postérieure** : constitue le mouvement le moins prédictible, avec 30% de précision (54). L'extrusion molaire sans accessoire est de 0,5mm au maximum avec une ouverture de 0,5° de la divergence faciale. Les attachements et accessoires type élastiques intermaxillaires sont recommandés pour améliorer ces résultats.(45)

Ainsi, un tableau récapitulatif de la prédictibilité peut être réalisé pour chacun des mouvements dentaires évoqués :

Mouvement	Prédictibilité
Torque	42%-50%- (99% ?)
Ingression antérieure	33%-47%
Egression	30%
Version vestibulo-linguale	72,9%
Générale	41-74%

Figure 38 : Prédictibilités des mouvements dentaires dans le traitement de la supraclusion.

f. Forces et moments dans la zone antérieure : évaluation in vitro.

○ Version

En considérant F_x pour la composante horizontale de version et F_z pour la composante intrusive, lors d'un mouvement de 0,15 mm mesuré depuis le rebord incisif, les valeurs varient de $-2,82 \pm 0,62$ N à $5,42 \pm 0,56$ N pour F_x , et de $-0,14 \pm 0,52$ N à $-2,3 \pm 0,43$ N pour F_z .

Les forces mesurées étaient plus élevées que les valeurs minimales nécessaires retrouvées dans la littérature pour un mouvement de version.

→ Lors d'un mouvement de version d'une incisive centrale en direction palatine ou vestibulaire, quel que soit le matériau (Ideal Clear®, Erkodur®, Biolon®), la force intrusive est plus importante lorsque le déplacement se fait en direction vestibulaire. Ceci s'explique par la différence morphologique des faces vestibulaire et palatine des incisives, qui tend à entraîner une **dépendance géométrique des forces** mises en jeu. (34)

Ces forces dépendent également de l'**épaisseur du matériau**, elles augmentent lorsque l'épaisseur du matériau augmente, et sont fonction de la **composition** même du matériau et du **processus de thermoformage** (33,34). Les aligneurs en polyuréthane sont plus rigides que ceux fabriqués en PET-G. L'**extension gingivale** de l'aligneur influence aussi les résultats, les forces étant nettement inférieures si l'extension fait 0-1 mm, comparée à des extensions de 3 ou 7 mm. (36)

○ Torque

Lors d'un mouvement de torque sur une incisive centrale maxillaire, Hahn définit F_x pour les forces agissant en direction palatine ou vestibulaire, mesurées depuis le rebord gingival pour un déplacement de 0,15 mm ou 0,8 mm, et F_z la composante intrusive associée.

La force selon l'axe F_x , pour un déplacement de 0,15mm au niveau du rebord marginal de la dent, est comprise entre -1.89 ± 0.48 N et $0,11 \pm 0.10$ N. Dans le même temps, F_z est comprise entre $-0,97 \pm 0.57$ N et $-0.07 \pm 0,22$ N.

La **force intrusive est plus importante lors d'un torque radiculo-palatin qu'un torque radiculo-vestibulaire**, pour des raisons anatomiques. Les aligneurs ont tendance à « soulever » les dents lors de l'expression du torque radiculo-palatin. Plus le mouvement radiculaire à chaque étape est important, moins il est probable que l'appareil s'ajuste à la dent. Le couple de force est alors moins efficace, et un mouvement coronaire se fait en parallèle du mouvement radiculaire désiré. La composante ingressive, majorée lorsque l'incrémention augmente, renforce ce phénomène.

Si l'on compare le mouvement de *torque* et la *version*, on constate une **corrélation linéaire** entre la quantité de mouvement effectuée et les forces nécessaires lors du mouvement

de version (figure 39). Le comportement biomécanique est différent lors d'un mouvement de torque. Le torque radiculo-palatin nécessite des forces plus conséquentes que le torque radiculo-vestibulaire, et les forces mesurées sont inférieures aux forces de version. Ceci est lié au point d'application des forces, qui pour un mouvement de version se fait dans la zone du bord incisif, zone où l'aligneur est plus rigide. En revanche dans un mouvement de torque, un des points d'application du couple de forces se situe au niveau du rebord gingival, zone de l'aligneur relativement souple. (35)

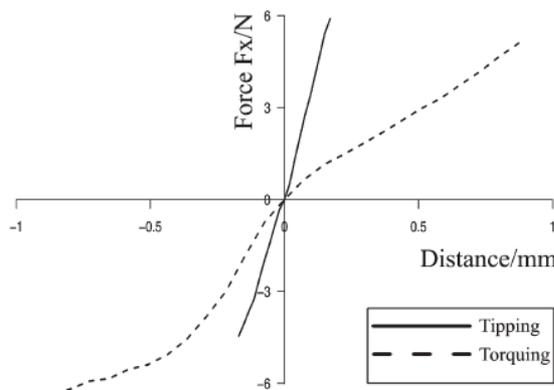


Figure 39 : Ratio force / quantité de déplacement (35)

La force appliquée à l'aide des Power Ridges est légèrement plus forte qu'avec un taquet : 7.9Nmm contre 6.7Nmm.(44)

Enfin, Iliadi estime que le torque est un des mouvements des plus difficiles à obtenir tout comme le mouvement d'ingression pur, qui nécessite des accessoires (attachements ou autre) pour réaliser un couple de force optimal. (38)

○ Intrusion

L'étude de Liu vise à étudier les forces lors de protocoles d'intrusion antérieure mandibulaire différents, où il est constaté que le choix du protocole d'ingression influence directement la quantité des forces finalement obtenue sur chaque dent. Elles sont liées à l'activation, à la forme et à la position des attachements, ainsi qu'au mouvement relatif des dents adjacentes.

L'intérêt des taquets de rétention postérieurs, associés au protocole d'ingression des canines seules (les dents postérieures et les incisives servant d'ancrage) puis des incisives, permet d'optimiser la force d'ingression sur les canines. A noter que l'ingression des incisives n'est pas influencée par l'ingression simultanée des canines.

On parle ainsi d'**intrusion séquentielle**, intéressante lorsque la supraclusion est sévère et concerne les canines, avec des racines longues, ou lorsque le parodonte est résistant.(37)

Ce mouvement est par ailleurs davantage influencé par l'épaisseur de l'aligneur que le mouvement de version, notamment au niveau du rebord gingival. (36) Une incrémentation de 0,15mm par étape semble, d'un point de vue des forces délivrées, idéale, de l'ordre de 0,35N à 0,6N. (35,38)

g. **Aligneurs VS multiattaches**

En comparant les scores OGS de cas sans extractions, les scores Invisalign® étaient systématiquement inférieurs à ceux obtenus après traitement multiattaches concernant **l'inclinaison bucco-linguale, les contacts occlusaux, les relations occlusales et l'overjet.**

Ce score OGS était similaire pour l'alignement, les contacts interproximaux et l'angulation coronaire.

Le taux de passage à la phase III de l'ABO était **27%** inférieur à celui du multiattaches en Invisalign® (21% pour Invisalign® contre 48% avec le multiattaches). L'essentiel des cas est par ailleurs considéré comme en limite d'acceptabilité. Plus le cas est difficile, plus l'écart entre les techniques augmente (27). Et les appareils fixes sont plus efficaces qu'Invisalign® pour apporter de « grandes améliorations ». (32)

Ce taux de passage pour Invisalign® est comparable à celui retrouvé dans l'étude de Kassas. La figure 40 représente les résultats obtenus sur 31 cas traités par Invisalign (29).

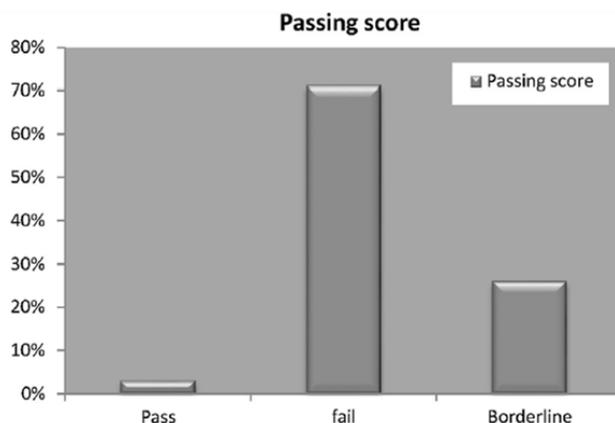


Figure 40 : Taux de passage à la phase III de l'ABO sur 31 patients (29).

Le groupe des aligneurs perd significativement plus de points OGS en moyenne que le groupe des appareils fixes. (58)

Gu et al évaluent l'indice PAR (*Peer Assessment Rating*). Avec un indice de difficulté similaire en début de traitement, il n'y a **pas de différence significative concernant les PAR pondérés** en fin de traitement ($P=0,7402$). Quel que soit le groupe, multiattaches ou Invisalign®, la réduction de l'indice PAR a été supérieure à 30%. Concernant les améliorations occlusales majeures (score final à zéro ou réduction de 22 points au moins), le traitement par multiattaches est plus efficace. (46 % contre 23% des cas pour Invisalign®).(32)

Concernant le torque antérieur, les appareils multiattaches (3M® et Damon®) présentent des variations de position incisives plus importantes avec une version incisive majorée par rapport au traitement Invisalign®, mais la différence entre les différents groupes n'est pas significative. (51)

Dans les cas de malocclusions simples les aligneurs sont aussi efficaces que les appareils fixes dans le contrôle de l'occlusion verticale. (27–29,54)

h. Contrôle du torque antérieur

Au-delà de son expression (dans le cas des classes II.2 par exemple), il doit être contrôlé notamment dans la phase d'ingression et de rétraction et demeure un critère de stabilité pour traiter les supraclusions. Selon Castorflorio, le torque corono-palatin est relativement prédictible grâce aux Power Ridges (PR). Sur une étude à échantillon faible de 9 incisives centrales, en appliquant un torque corono-palatin de 10°, une prédictibilité de **99%** est retrouvée. (47)

Simon compare deux systèmes, Invisalign® et Clear Smile®. Les moments et forces sont augmentés lors de l'utilisation des PR, dont les forces appliquées ont des valeurs cohérentes avec les données retrouvées dans la littérature. (48)

Pour Zhang, par **une analyse sur CBCT**, les aligneurs déplacent les couronnes de manière précise contrairement aux racines : une amplitude de mouvement de 2,5 mm au niveau coronaire et 0,4 mm au niveau radiculaire est retrouvée, en utilisant des taquets rectangulaires simples. Au niveau coronaire, l'écart avec le mouvement coronaire prévu est faible (moins de **0,4mm**), mais conséquent au niveau radiculaire (jusqu'à **2 mm**). (49)

Selon Tepedino, avec le système Nuvola® de Clear Aligner, fabriqué par série de 12 aligneurs maximum, il n'y a pas de différence significative entre le torque prédit et le torque réel, après analyse sur superposition coronaire. (52)

→ Contrôler le torque nécessite un couple de force effectif. Une force s'exerce au niveau marginal et l'autre au niveau du rebord occlusal, en direction opposée. Un ajustement serré de la dent par l'aligneur est nécessaire, d'où l'intérêt des Power Ridges d'Invisalign®.

i. Contrôle de la version antérieure

Elle correspond au mouvement le plus **efficace** et le plus **prédictible** pour traiter une supraclusion. (*pour rappel : 72,9% de prédictibilité selon Lombardo*) (47).

Les brackets produisent plus de version lors de l'alignement que le système Invisalign®, dans les cas d'encombrement léger inférieur à 4mm, mais cette différence n'est statistiquement pas significative. La quantité de version avec les aligneurs est de $3,4^\circ \pm 3,2^\circ$, contre $5,3^\circ \pm 4,3^\circ$ (P=0,14) avec les brackets autoligaturants.

→ La version de l'incisive mandibulaire est donc bien contrôlée pour des malocclusions légères à modérées avec les aligneurs. (31,55)

j. Contrôle de l'intrusion antérieure

Les dents ne suivent pas l'intrusion prévue. Les incisives centrales maxillaires sont plus vestibulo-positionnées avec une insuffisance d'inclinaison vestibulaire. Ceci n'est pas le cas au niveau des incisives latérales. Il est de même au niveau des incisives mandibulaires, qui sont plus occlusales que prévues. Selon Grünheid, ces différences ne sont toutefois cliniquement pas significatives (inférieures à 0,5 mm et 2°/dent) (30)

Pour rappel, l'intrusion réelle programmée est en moyenne de **0.72 mm** sans accessoires complémentaires (54). Et selon Khosravi, **1,5 mm** de correction de la supraclusion se fait facilement. (45)

L'étude de Charalampakis va dans ce sens : l'intrusion maxillaire antérieure est difficilement prédictible avec un différentiel de 1,5 mm au niveau des centrales, 1,1 mm au niveau des latérales, et comparativement 0,8 mm au niveau des incisives mandibulaires. (46)

k. Contrôle de l'extrusion postérieure

Les dents postérieures, quel que soit le mouvement, présentent une perte de contrôle relative (30). Par ailleurs, Grünheid établit que les molaires se retrouvent en position plus occlusales avec une perte de contrôle du torque des deuxièmes molaires maxillaires, seul résultat significatif cliniquement (différence supérieure 2°). Une limite de 0,5 mm d'égression postérieure a été établie (55). Les attachements et accessoires type élastiques intermaxillaires sont recommandés pour potentialiser ces résultats.

Les mouvements verticaux sont les plus difficiles à effectuer avec le système par aligneurs, le recouvrement est le paramètre le plus complexe à prédire, contrôler et corriger. (32,42)

1. Facteurs influençant l'efficacité des mouvements

Le **sexe** et l'**âge** affectent directement les résultats. Ils sont également influencés par la **qualité osseuse**, la **longueur de la dent**, la **localisation du centre de résistance** de la dent, et certains **facteurs systématiques**. (41)

La relation est sous la forme d'une *régression cubique* concernant l'âge (figure 41), l'efficacité des mouvements diminuent de 18 à 35 ans, puis une légère augmentation de 35 à 50 ans et un taux décroissant de nouveau entre 50 et 70 ans chez l'homme. En revanche, chez la femme, cette nouvelle tendance à la décroissante n'est pas constatée. (43)

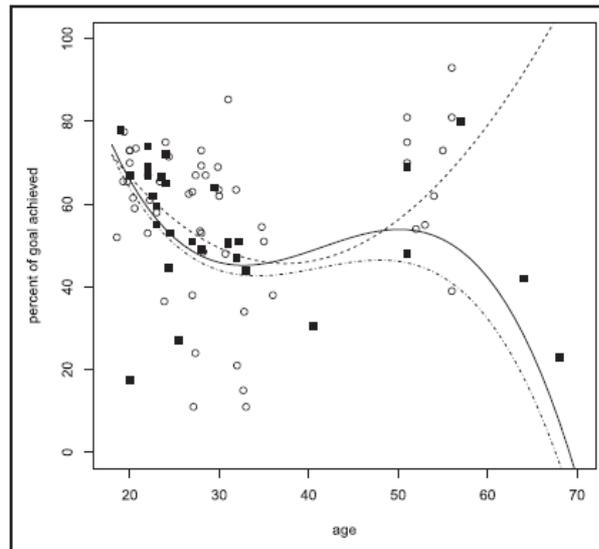


Figure 41 : Mouvements fonction de l'âge : données : cercles > femmes, carrés > hommes ; ligne continue : modèle de corrélation cubique, pointillés serrés > femmes, pointillés espacés > hommes (43),

La majorité des mouvements a lieu durant la première semaine de port, lors d'un changement des aligneurs toutes les deux semaines. D'où les recommandations récentes d'Invisalign® avec un **changement hebdomadaire** des aligneurs. (41,43,59)

Lors d'une **incrémentation** de 0,25 mm, la précision des aligneurs est de 62% contre 54% si l'incrémentation est de 0,5 mm. (43)

Une donnée importante est la **compliance** concernant le port des aligneurs qui est fondamentale et influence tous les résultats obtenus. (43)

En revanche, le comportement des aligneurs n'est pas affecté par les forces occlusales et les propriétés d'usure des aligneurs. (38)

m. Récidive

Une seule étude aborde cette problématique, malheureusement sans évoquer le recouvrement. En comparant la stabilité post traitement à 3 ans entre les traitements fixes et les traitements avec Invisalign® à l'aide du score OGS, Kuncio a montré qu'il y avait plus de récurrence dans la zone antérieure dans le groupe traité par aligneurs (28). Mais ceci n'est significatif qu'au niveau de l'**alignement antérieur maxillaire**. Les autres facteurs, à savoir le surplomb, l'alignement postérieur, la position des crêtes marginales, l'inclinaison bucco-linguale, les relations occlusales, les contacts interproximaux, et l'angulation radiculaire montrent des évolutions qui ne sont pas significativement différentes dans le temps.

Les changements concernant l'alignement total et l'alignement mandibulaire sont significatifs quel que soit le groupe étudié, et seulement significatif concernant l'alignement maxillaire pour le groupe traité par Invisalign®. Les patients traités par Invisalign® sont donc plus sujets à la récurrence. (28)

n. **Revue systématique**

La première revue systématique relevée datant de 2005 n'établit aucune conclusion par un manque d'études pertinentes à cette époque (53). Puis, huit revues sont apparues à partir de 2015 dont quatre en 2019 (38,58-60).

Elles analysent les paramètres suivants :

- l'efficacité et la précision d'Invisalign® (54-57,59)
- la comparaison aligneurs/multiattaches (58,60)
- les forces et moments délivrés par les aligneurs (38)
- l'efficacité et la stabilité (56)

Les résultats et conclusions associées sont cohérents par rapport aux données relevées après lecture indépendante des articles utilisés dans notre revue de la littérature.

La revue systématique avec méta-analyse associée la plus récente, datant de novembre 2019 de **Papageorgiou** (60), compare les aligneurs et les traitements fixes. Les finitions sont de moins bonne qualité avec les aligneurs. Cinq des huit facteurs d'évaluation de l'OGS score sont inférieurs avec les aligneurs : inclinaison bucco-linguale, contacts occlusaux, relations occlusales, surplomb, angulation radiculaire. La figure 42 présente ces résultats :

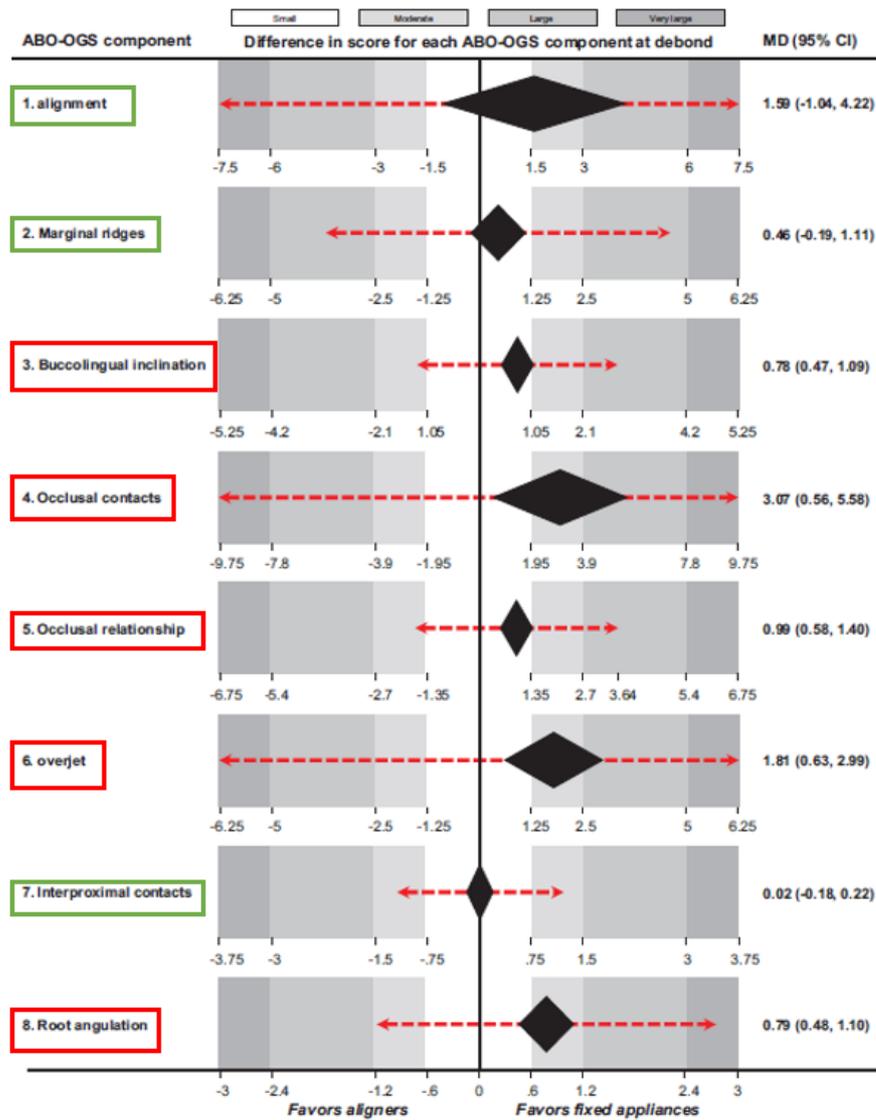


Figure 42 : critères de l'OGS score : aligneurs vs multiattaches (60)

La somme de ces critères d'évaluation fait que la différence clinique devient évidente entre les deux techniques, comme le montre la figure suivante :

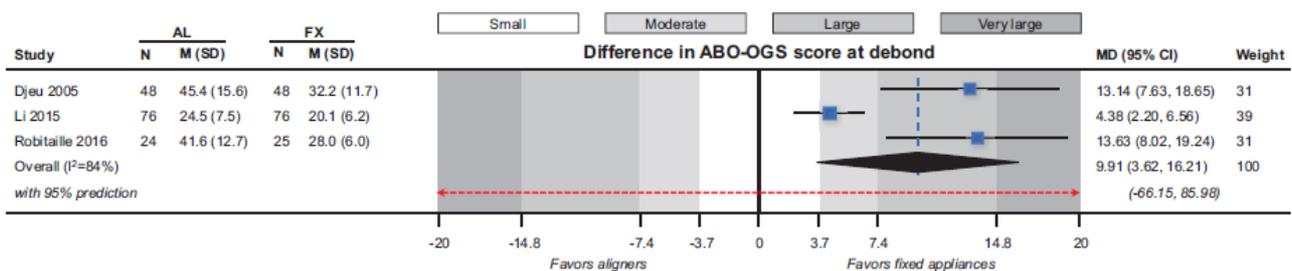


Figure 43 : OGS score total : aligneurs VS multiattaches(60)

En revanche, à travers la méta-analyse du **PAR score**, aucune différence significative n'est retrouvée entre aligneurs et multiattaches, hormis concernant le **recouvrement** et le **contrôle des dents antérieures maxillaires**, davantage perfectibles avec les aligneurs. Cette différence OGS/PAR s'explique par l'hétérogénéité des composants des deux index, avec un index PAR moins précis concernant les finitions, ne prenant pas en considération l'inclinaison des dents, les espaces résiduels et l'alignement postérieur.

5. Discussion

a. Méthodologie et caractéristiques des études

Une disparité a été constatée entre les protocoles de recherche avec parfois des biais importants (superpositions sur modèles numériques, notions de torque sans analyse au niveau radiculaire...). La revue systématique de Rossini de 2015 révèle que 63% des études utilisées dans son analyse de prédictibilité des aligneurs présentaient des biais importants. La majorité des études a été faite avec le système Invisalign®. Le manque de consensus entre les résultats est en partie lié au fait que de nombreux articles publiés concernant le système Invisalign® n'incluent pas les nouvelles technologies, après G5. L'outil utilisé n'étant pas le même, les résultats sont donc différents. Et cet outil est en constante évolution. La figure suivante met en parallèle les générations et évolutions successives d'Invisalign® et les publications scientifiques des dix dernières années utilisées dans cette revue. (figure 44)

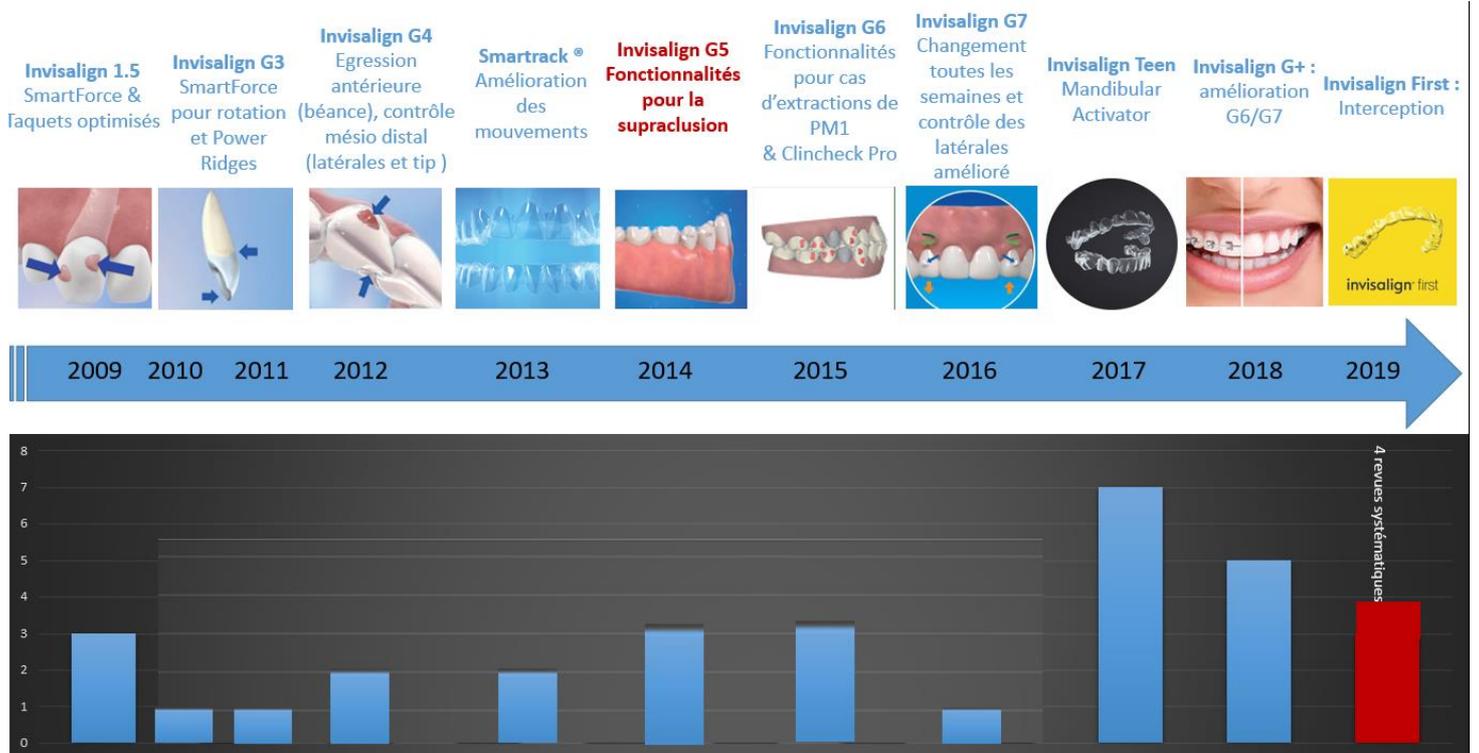


Figure 44 : Générations Invisalign® et littérature scientifique

Une quantité non négligeable d'articles a été rédigée avant la génération G5. En 2019, seules des revues systématiques ont été effectuées. Une insuffisance d'études cliniques récentes a été constatée concernant les différents thèmes abordés ici, comme la stabilité à long terme des traitements par aligneurs. Réaliser des études cliniques, avec les nouvelles technologies d'Invisalign® (système Smartrack®, dernières générations, Invisalign® Teen et First pour les adolescents et enfants,...), et analyser d'autres systèmes d'aligneurs est absolument nécessaire pour tirer des conclusions plus pertinentes.

Les études ont toutes porté sur des **patients hors croissance** et la plupart d'entre elles incluait des **patients âgés en moyenne de 30 ans environ**. (27,28,39,42,45,48)

Cela révèle un fort manque d'informations concernant les individus en croissance, et indique que le traitement par aligneurs est une option de traitement privilégiée pour les patients adultes, pour des raisons financière et esthétique notamment. Pourtant, les aligneurs se

démocratisent en s'adressant aux enfants et aux adolescents. Aucune étude n'analyse les mouvements dentaires dans ces tranches d'âge, chez qui ils pourraient être optimisés, pour des raisons physiologiques. Leur potentiel de croissance adaptatif disparaît lorsque le traitement débute à l'âge adulte.

La superposition des modèles numériques pour évaluer l'efficacité des traitements et l'analyse de prédictibilité qui en découle est périlleuse. Cette superposition s'est faite parfois sur les dents considérées comme non mobiles lors du traitement (26,30,39,40,42,44,46–48,50,52). Toutefois, les aligneurs ne s'affranchissent pas du principe d'action/réaction simple et de la notion d'ancrage : toutes les dents sont soumises à des forces avec le port d'aligneurs, elles peuvent donc avoir une position qui n'est pas la position « immobile » du set-up. L'analyse est alors erronée.

Par exemple dans la dimension verticale, les aligneurs englobant toutes les dents entraînent des prématurités postérieures à la fermeture, ce qui peut provoquer une ingression non désirée de ces dents. En réalité, les dents sont donc plus apicales que sur la superposition, ce qui minimise le traitement du recouvrement au niveau antérieur. Des repères muqueux tels que les papilles palatines, ou les implants dentaires, pourraient en revanche servir de référence.

Une analyse par imagerie 3D sur **CBCT** (Cone Beam) notamment, est une plus-value non négligeable concernant la précision des résultats (41,43,49). L'analyse de la position des racines n'est réalisée que dans très peu d'études : la notion de torque sans analyse au niveau radiculaire semble être un biais méthodologique important. L'étude de Khosravi utilise les téléradiographies de profil avant et après traitement, avec des mesures linéaires et angulaires précises, ce qui peut être suffisant pour évaluer l'efficacité des aligneurs dans le traitement de la supraclusion.

L'analyse de l'efficacité des traitements en utilisant des scores standardisés, tels que l'OGS score et l'index PAR, permettent une certaine homogénéisation des résultats et une comparaison reproductible de l'efficacité du traitement par aligneurs et celui réalisé avec les appareils fixes. (26–29)

Enfin, la taille des échantillons est extrêmement variable, allant de 9 (47) à 120 (45) cas étudiés. La puissance des études en est parfois directement impactée.

b. Interprétation des résultats

Les mouvements verticaux semblent être les mouvements parmi les plus difficiles à réaliser avec les aligneurs (32,42). Le traitement de la supraclusion est une des malocclusions dont le traitement est le moins prédictible, particulièrement si une version antérieure mandibulaire n'est pas possible, si l'origine est maxillaire ou liée à une insuffisance verticale postérieure, chez un patient hors croissance.

Les valeurs de prédictibilité et d'efficacité sont variables. Ceci s'explique par le protocole du traitement en lui-même, opérateur et système dépendant, et par le protocole d'analyse des résultats, parfois même biaisé (imprécision des superpositions par exemple).

○ Ingression

Il est nécessaire de surveiller les contacts interproximaux lors de l'ingression : un minimum d'espace est nécessaire pour réaliser ce mouvement.

Un protocole de hiérarchisation est établi pour corriger la supraclusion de manière efficace : *vestibulo-version, ingression puis rétraction*.

- 1- La phase de **vestibulo-version** est relativement prédictible.
- 2- Puis la phase d'**ingression** nécessite un contrôle de l'axe dentaire, facilité par des accessoires types points de pression et Power Ridges. Plus la vélocité est réduite, plus forte est la prédictibilité (0,15mm/aligneur par exemple).
- 3- Enfin la **rétraction** met en jeu un contrôle du torque fondamental. S'il n'est pas maîtrisé, cela se matérialise cliniquement par des prématurités antérieures en OIM et des béances sur les secteurs latéraux.

Si des rampes d'occlusion sont utilisées, les forces occlusales se concentrent sur les incisives mandibulaires et facilitent vraisemblablement l'ingression antérieure désirée.

Les zones de pression apparaissent lors de la phase d'ingression sur les incisives supérieures ou inférieures et sur les canines inférieures, et entraînent un vecteur de force d'ingression équilibrant, le long de l'axe longitudinal de la dent. Les Power Ridges ont la même fonction, permettant un contrôle de l'axe d'ingression.

Un ancrage des aligneurs au niveau prémolo-molaire est nécessaire lors du mouvement d'ingression antérieure, prévenant la bascule et la désinsertion de l'aligneur dans la zone postérieure.

Au niveau de l'ingression antérieure mandibulaire suggérée par Align Technology®, 2mm d'ingression pure des canines semblent être un maximum à espérer. Concernant l'ingression des incisives, jusqu'à 2-3mm peuvent être obtenus sans accessoires selon Align Technology®. Les valeurs d'ingression pure retrouvées dans notre revue de la littérature sont inférieures, avec une correction finale **inférieure au mm** par arcade.

L'ingression antérieure séquentielle est un protocole de prise en charge proposé si tout le bloc incisivo-canin est égressé : les canines sont ingressées, puis les incisives. Deux conditions d'ingression sont alors requises :

- 2mm programmés au niveau canin.
- 3mm programmés au niveau incisif.

Le nombre d'aligneurs requis augmente, il peut être intéressant d'augmenter la vélocité du mouvement à 0,25mm par aligneur.

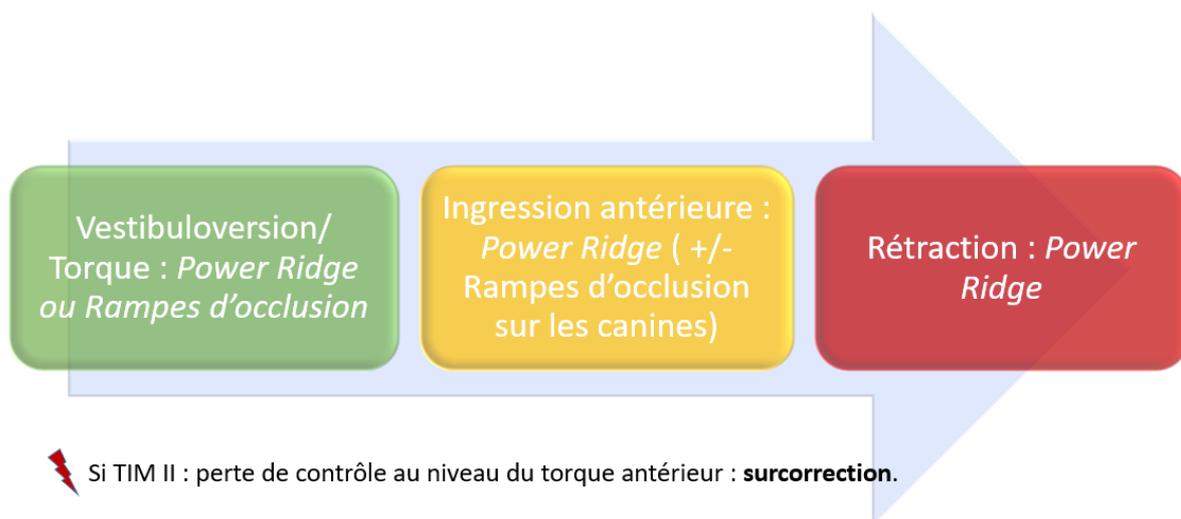


Figure 45 : Protocole de prise en charge de la supraclusion

○ **Contrôle du torque**

Selon le docteur Moshiri, 20 % de torque radiculo-palatin supplémentaire doit être demandé quand il s'agit de corriger le torque des incisives supérieures, et environ 10 % quand il s'agit des dents antérieures inférieures. Selon lui, le torque radiculo-palatin des dents inférieures s'exprime de manière plus prévisible que celui des dents supérieures.

De plus, les aligneurs ont tendance à s'écarter des dents antérieures lors de l'application d'un torque radiculo-palatin. Encore une fois, la force d'ajustement constante exercée sur les rampes d'occlusion palatines peut forcer l'aligneur à revenir se plaquer sur les dents, améliorant l'expression du torque. Les « chewies » sont des accessoires qui facilitent l'adaptation de l'aligneur durant les premiers jours de port, par un exercice de mâchonnement.

L'application de TIM de classe II de manière excessive peut limiter l'expression du torque antérieur au niveau maxillaire, voire engendrer un mouvement de « rabbiting », par un phénomène de pliure de l'aligneur sur lui-même. Pour prévenir cela, placer les TIM en position plus distale, des 2èmes molaires mandibulaires aux 1ères prémolaires maxillaires, permet d'optimiser l'expression du torque antérieur. Rappelons que l'usage de TIM de classe II dépend en partie de l'inclinaison de l'incisive inférieure et de l'orientation du plan d'occlusion.

Le torque est un des mouvements le moins bien étudié à l'heure actuelle dans la littérature. Ceci s'explique par l'insuffisance d'analyse au niveau **radiculaire** après traitement par aligneurs. Les résultats sont d'ailleurs contradictoires, et les conclusions difficiles à établir.



Figure 46 : Effets de TIM excessifs sur le torque antérieur : mouvement de « rabbiting »

○ Egression postérieure

Il demeure un paradoxe dans la conception même des aligneurs pour ce mouvement. Les aligneurs recouvrent complètement les couronnes dentaires et créent une interférence postérieure généralisée. Le mouvement d'égression exige en revanche un espace libre occlusal pour s'exprimer pleinement, même si des taquets d'égression actifs peuvent être utilisés. Des élastiques verticaux peuvent accompagner le mouvement, associés aux rampes d'occlusion. Des découpes sur les derniers aligneurs au niveau des dents à égresser, en y associant des TIM verticaux, corrigent les béances postérieures souvent constatées en fin de traitement. Elles sont en partie expliquées par les interférences antérieures occasionnées par l'insuffisance de contrôle du torque antérieur et de l'angle interincisif non idéalisé.

Chez un patient hypodivergent, la **surcorrection** de l'égression postérieure semble nécessaire. Ainsi, maintenir des contacts occlusaux exagérés sur les secteurs latéraux, associé à une absence de contact au niveau antérieure peut se justifier lors de la confection du set up. Pour rappel, 1 mm d'égression postérieure apporte au moins 1,5 mm de correction de la supraclusion.

Dans les cas chirurgicaux avec avancée mandibulaire, le nivellement de la courbe de Spee et l'égression postérieure est potentialisée après l'intervention (phénomène d'accélération régionale), ce qui permet d'accroître la dimension verticale de manière efficace.

Si le praticien choisit une égression des prémolaires, les taquets sur les prémolaires auront une surface active, associés à l'ingression des dents antérieures. Pour un patient en cours de croissance hypodivergent, le MA (Mandibular Activator®) ou une correction de classe II par TIM, associés à cette égression postérieure permet de corriger de manière efficace une supraclusion avec ouverture de la dimension verticale.

Concernant les rampes d'occlusion, elles peuvent mesurer jusqu'à 3mm dans le sens antéro-postérieur. L'intérêt d'un soutien par élastique de classe II permet d'accompagner le patient en propulsion, ce qui prévient le placement de ses incisives mandibulaires derrière les rampes d'occlusion. Lorsque le surplomb est supérieur à 3mm, il est possible de réaliser les cales rétroincisives et de réaliser les aligneurs ensuite qui viendront les recouvrir, ou plus simplement en déplaçant les rampes au niveau canin.

○ **Mise en perspective des résultats**

Selon une étude faite par Invisalign® sur 130 cas sévères de supraclusion traités après la mise en place de la technologie **G5**, la supraclusion a été en moyenne réduite de **2,56 mm**, (dont **1,38 mm** d'ingression au niveau mandibulaire et **0,63 mm** au niveau maxillaire), et au maximum **6,13 mm** de correction du recouvrement a été obtenue (**2,69mm** d'ingression au niveau mandibulaire et **1,84 mm** au niveau maxillaire). Ces valeurs sont supérieures aux valeurs retrouvées dans les différentes études de notre revue.

Concernant la prédictibilité et comparativement aux autres mouvements, l'étude de Houle de 2017 révèle une moyenne de **73%** concernant l'expansion maxillaire, et **88%** pour l'expansion mandibulaire et la distalisation molaire (d'après l'étude de Simon (48)).

Invisalign® expose des critères de difficultés selon l'origine et la quantité de mouvements mis en jeu pour corriger la supraclusion avec un code couleur associé (figure 47) :

Classification	Chirurgie	Égression postérieure	Ingression antérieure
1 Simple	Non	Non	< 2,5 mm
2 Intermédiaire	Non	< 1 mm	2,5-3 mm
3 Complexe	Oui	> 1 mm	> 3 mm

Figure 47 : Difficultés de traitement de la supraclusion, d'après Invisalign®

Il est ainsi possible de classer les mouvements réalisables avec les aligneurs selon le ratio quantité/vélocité des différents mouvements orthodontiques (figure 48) :

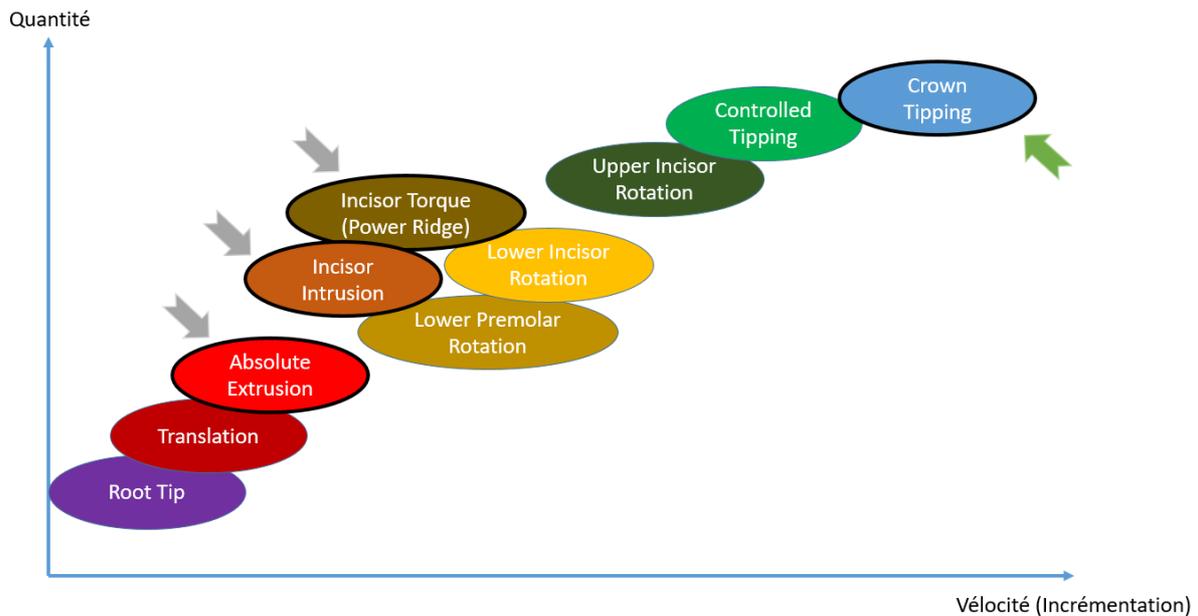


Figure 48 : Ratio quantité/vélocité des mouvements avec Invisalign®, d'après Schwartz, 2008

Nous pouvons mettre en évidence un important différentiel sur ce graphique entre le mouvement de version coronaire, le plus prédictible, et les autres mouvements qui intéressent le traitement de la supraclusion.

Les techniques fixes demeurent plus efficaces, particulièrement lorsque les cas deviennent complexes. Cette comparaison a du sens, si l'on considère qu'aujourd'hui les traitements fixes restent la technique de référence. Toutefois, si les premiers patients terminés avec succès sont utilisés dans le groupe aligneurs, la supériorité du traitement fixe peut être sous-estimée, les cas avec extractions, les traitements plus longs et complexes ayant été exclus la plupart du temps dans les études.

Le gain de temps de traitement n'est par ailleurs pas significatif d'après une étude de Li de 2015 (étude retirée depuis des bases de données) et selon la méta-analyse de Papageorgiou. La durée de traitement est influencée par des facteurs de confusion comme la difficulté de traitement. Le choix de la technique n'a pas une influence constante.

Khosravi estime la correction maximale de la supraclusion à 1,5 mm avec les aligneurs, contre 3 mm avec le traitement multiattaches en moyenne. (45)

Concernant les cas complexes, l'hypercorrection semble être un moyen efficace d'augmenter la prédictibilité, elle est recommandée par de nombreux auteurs (39,45,48). Pour les cas avec un recouvrement initial > à 80%, il peut être préconisé d'établir sur le set up virtuel dynamique :

- **0mm de recouvrement** à la fin du set up.
- une **courbe de Spee inversée** à la mandibule.
- des **contacts occlusaux postérieurs majorés**, sans contacts antérieurs ou simplement sur les canines.

Dans le même temps, diminuer la vélocité à 0,15 mm par aligneur au lieu des 0,25 mm préprogrammés, pour répartir un mouvement complexe sur un nombre d'aligneurs plus grand, peut améliorer le résultat final (ex : torque, ingression antérieure).

A noter qu'avec des dents courtes, il est requis d'augmenter la taille et le nombre des taquets.

Des différences substantielles dans les interventions et dans les protocoles de recherche mis en œuvre indiquaient une hétérogénéité méthodologique significative. Une méta-analyse de toutes ces données n'a donc pas été entreprise.

c. Apports des minivis

Selon le Dr Sabouni, le mouvement d'intrusion pure nécessite fréquemment la mise en place de minivis d'ancrage.

En 2018, Chang propose un protocole de prise en charge avec des minivis d'1,5mm*8mm associés aux aligneurs, qui permettent d'ingresser le bloc incisif maxillaire. Ainsi il est possible de traiter une importante supraclusion et un sourire gingival, tout en maintenant un contrôle de l'axe incisif. Mais aucune étude clinique n'a objectivement quantifié l'intérêt de ce protocole. A noter qu'il est possible de mettre les minivis au niveau antérieur mandibulaire pour y potentialiser l'ingression. (figures 49-50)



Figure 49 : Minivis et aligneurs : Dr Diego Peydro Herrero.



Figure 50 : Protocole du Dr Chang avec élastiques de 3,5 oz : vestibuloversion associée à l'ingression.

d. Récidive & contention

La supraclusion fait partie des malocclusions des plus récidivantes avec une récurrence entre 4 et 10 ans dans 29% des cas.(61)

Une revue systématique rapporte une récurrence de la supraclusion en traitement conventionnel de 0,8 mm en moyenne sur une durée de 1 à 14 ans, d'où l'intérêt des surcorrections (62).

Kuncio (28) n'analyse que la stabilité générale du traitement, mais la valeur du recouvrement n'est malheureusement pas considérée. Toutefois, nous savons qu'il est capital d'obtenir à la fois une occlusion postérieure stable et un angle interincisif fonctionnel, aux alentours des 131°. Par cette idéalisation du rapport interincisif, la récurrence de la supraclusion est prévenue. Par ailleurs, l'égression postérieure dans la technique par aligneurs est un mouvement globalement limité. La récurrence par ré-ingression postérieure, principalement régie par la musculature tonique persistante, est donc la plupart du temps négligeable.

La contention Vivera® est proposée par Align Technology® spécifiquement pour la supraclusion. Mais aucune étude sur l'efficacité de ce type de dispositif n'a été relatée dans la littérature. Une plaque de Hawley avec contacts antérieurs adaptés est une autre option de contention possible. Ce type de dispositif permet une stabilisation de l'occlusion postérieure et contribue à un renforcement de la force d'ingression sur les incisives inférieures pendant la contention.

e. Et quel avenir ?

La conception du plan de traitement individualisé sur un modèle prospectif est intéressante et antinomique avec la conception parfois réactionnelle des traitements non individualisés. Plusieurs plans de traitement peuvent être simulés et proposés au patient par la même occasion. Une mise en perspective de notre traitement au niveau facial est une démarche intéressante pour le praticien et le patient ; des logiciels tels que Digital Smile Design® et Smile View® sont des outils novateurs qui vont en ce sens, qui pourraient être superposés avec le set up virtuel dynamique du traitement par aligneurs.

Par exemple, une quantité de version peut être simulée et évaluée comme acceptable ou non selon le praticien, en fonction des paramètres cliniques du patient, notamment parodontaux. L'analyse du support osseux, à l'aide de l'imagerie tridimensionnelle par CBCT par exemple trouve un intérêt diagnostique non négligeable. La faisabilité et la difficulté peut être prévue en amont ou au cours du traitement. Cela permet d'optimiser les forces mises en jeu pour chaque dent après évaluation de l'anatomie radiculaire et de l'environnement osseux. L'utilisation du CBCT a été mineure dans les études (30,41,43,49), ce qui, dans un futur proche devrait considérablement évoluer avec la démocratisation de cette imagerie dans les cabinets, dont l'apport **diagnostique** est évident.

L'imagerie 3D permet également de gagner en précision lors de l'**évaluation** de l'outil thérapeutique, par une analyse au niveau radiculaire et une superposition de l'imagerie avant et après traitement, en utilisant des repères anatomiques plus précis et tridimensionnels.

L'outil Dental Monitoring® est un moyen de motiver les patients au cours du traitement, et de contrôler les mouvements dentaires à l'aide d'un appareil photo, en s'appuyant sur l'intelligence artificielle.

Les logiciels de planification virtuelle, les scanners intra-oraux et les imprimantes 3D sont en constante amélioration. Une des perspectives serait que le praticien puisse fabriquer lui-même des aligneurs performants, selon un plan de traitement totalement individualisé et sous contrôle complet du praticien, tout en étant assisté par l'intelligence artificielle.

L'apport de la méthode des éléments finis, pourrait apporter une plus-value non négligeable pour évaluer et améliorer la technique des aligneurs dans sa conception. L'établissement d'un modèle biologique prenant en compte toutes les variables physiologiques, intra et interindividuelles rend toutefois la tâche complexe.

A noter que la réponse aux forces orthodontiques est dictée par la physiologie des patients, dont l'âge est un des paramètres à considérer. Le développement du traitement par aligneurs chez les adolescents et les enfants ouvrent des perspectives de traitement et d'études cliniques élargies (Invisalign Teen®, Invisalign First®).

L'interception précoce par aligneurs permet de supprimer d'éventuels verrous en période de croissance, dont fait partie intégrante la supraclusion précoce de l'enfant. Une fois corrigée, le potentiel de croissance mandibulaire pourra alors s'exprimer pleinement. Si toutefois ce n'est pas le cas, le *Mandibular Activator* d'Invisalign agit par la suite comme un activateur de correction de classe II squelettique. Associé en suivant à une égression postérieure programmée, une supraclusion peut être corrigée de manière efficace avec une ouverture du sens vertical associée.

f. Intérêt d'un mémoire de spécialité

Nous allons proposer un protocole de recherche concernant l'efficacité du traitement de la supraclusion par aligneurs, notamment par le système Invisalign®. Il s'agira d'une étude rétrospective sur patients ayant été traités par aligneurs, dans laquelle une analyse du Clincheck® et des téléradiographies de profil avant et après traitement permettra de quantifier la quantité de supraclusion corrigée, avec une mise en évidence des différentes composantes mises en jeu (vestibuloversion, ingression antérieure, égression postérieure, ouverture du sens vertical, angle interincisif...), à corréler aux stratégies thérapeutiques mises en jeu. Une comparaison avec la synthèse de la littérature issue de ce travail sera bien évidemment réalisée.

g. Proposition d'un organigramme décisionnel de prise en charge

Lors de l'élaboration du plan de traitement, les stratégies de traitement de la supraclusion peuvent être classées de la manière suivante, la difficulté du traitement en est consécutive :



Figure 51 : Choix pour la correction de la supraclusion

Aux vues des recommandations des différents auteurs, un diagramme décisionnel de prise en charge peut être réalisé (figure 52) :

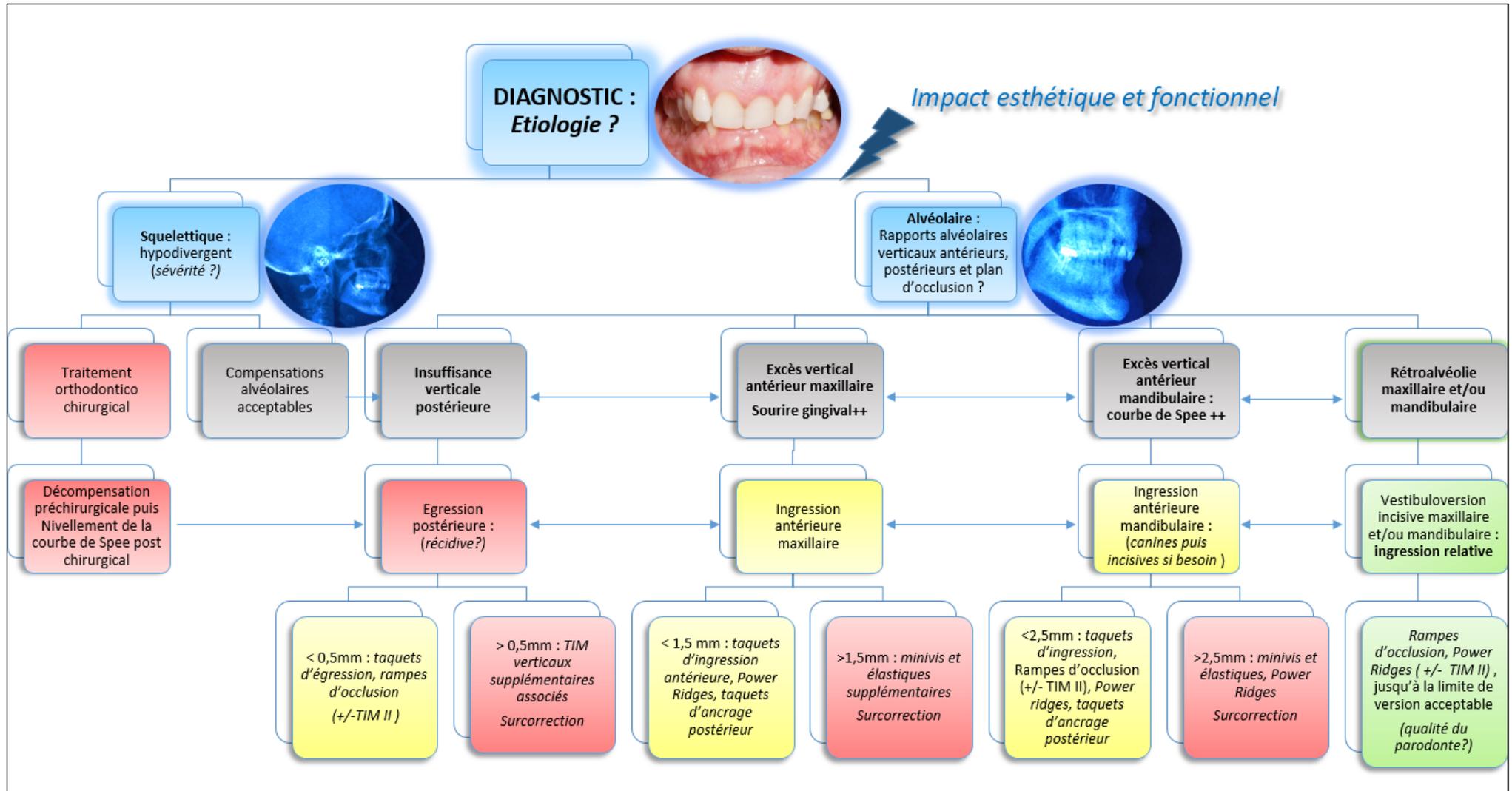


Figure 52 : Organigramme décisionnel de prise en charge de la supraclusion pour un patient hors croissance.

Les aligneurs sont de plus en plus utilisés chez des patients jeunes, en cours de croissance. Il est donc possible de réaliser un organigramme de prise en charge en fonction de la divergence du patient et du potentiel de croissance.

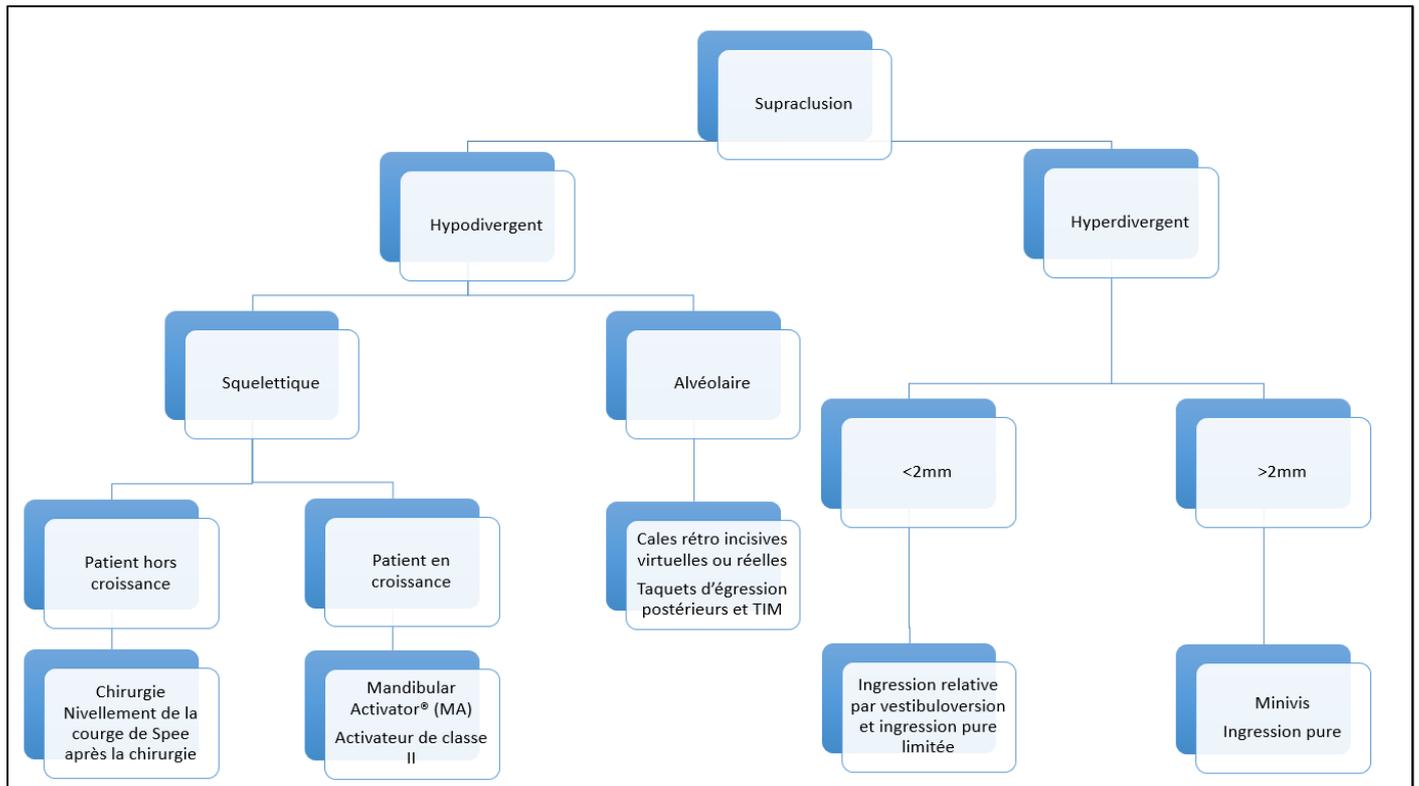


Figure 53 : Stratégie de traitement en fonction de la divergence et du potentiel de croissance du patient. D'après Sabouni, Journées de l'Orthodontie 2019.

V. Conclusion

Les forces exercées par les aligneurs restent limitées pour traiter une supraclusion complexe, que l'on peut considérer comme une des malocclusions des plus difficiles à traiter avec les aligneurs. La littérature a montré que les aligneurs ne permettaient pas toujours d'obtenir les mouvements dentaires planifiés de manière aboutie, surtout au niveau radiculaire. Théoriquement les mouvements sont possibles, avec l'aide des accessoires appropriés, mais le résultat est en général en deçà de celui escompté et planifié.

La correction de la supraclusion se fait principalement par vestibuloversion antérieure mandibulaire, par ingression antérieure maxillaire et mandibulaire, et dans une moindre mesure par égression postérieure. A noter que concernant le contrôle du torque, il semble difficile de conclure de par l'hétérogénéité des résultats. L'efficacité des Power Ridges et de la technologie actuelle d'Invisalign® reste à évaluer sur des échantillons plus importants avec une méthodologie plus précise, analysant notamment le contrôle radiculaire.

Dans tous les cas, l'efficacité des aligneurs est bien meilleure en réunissant les trois facteurs suivants : un **diagnostic** précis, une **planification cohérente et individualisée**, et une **compréhension des particularités biomécaniques propres aux aligneurs**. L'intérêt des auxiliaires semble évident, comme les minivis d'ancrage, mais l'absence d'étude à ce sujet est réelle pour en évaluer le bénéfice clinique. Quelle que soit sa forme clinique, la prise en charge de la supraclusion peut être optimisée, tout en gardant à l'esprit qu'elle s'inscrit dans un contexte clinique plus global, la supraclusion étant une malocclusion rarement isolée.

VI. Index des tableaux et figures

Figure 1 : Classification de la sévérité de la supraclusion en fonction du recouvrement (gauche) ; Triangle de Slavicek : corrélation entre surplomb, recouvrement et pente de guidage (droite)... 11	11
Figure 2 : Angle Plan palatin / Plan d'occlusion supérieur (gauche) ; Plan mandibulaire/ Plan d'occlusion inférieur (droite). 13	13
Figure 3 : Plan occlusal de Ricketts 13	13
Figure 4 : A gauche : interposition labiale inférieure ; à droite : hypertonicité labiale 15	15
Figure 5 : Arc de base de Ricketts mandibulaire..... 17	17
Figure 6: Corrélation entre inclinaison axiale et intrusion relative. 18	18
Figure 7 : Conception actuelle de l'outil thérapeutique orthodontique par procédé CAD/CAM..... 20	20
Figure 8 : Débuts des aligneurs 21	21
Figure 9 : Force applicable sur une attache collée sur la couronne dentaire. 24	24
Figure 10 : Force applicable par un aligneur avec ses composantes 24	24
Figure 11 : Comparaison biomécanique multiattaches VS aligneurs..... 25	25
Figure 12 : Egression (antérieure) avec des élastiques intra-arcades (à gauche) et inter-arcades (à droite). 26	26
Figure 13 : Egression d'une molaire avec taquet d'égression optimisé. 26	26
Figure 14 : Exemple d'une incisive latérale présentant un taquet multi-plans (égression, version, rotation) optimisé sur la face vestibulaire de la latérale et un point de pression sur la face palatine de l'aligneur..... 27	27
Figure 15 : Mouvement d'ingression. 27	27
Figure 16 : Initiation d'une force ingressive par contact serré entre aligneur et zones de pression..... 27	27
Figure 17 : Intrusion d'une incisive centrale..... 28	28
Figure 18 : Désocclusion molaire pendant le mouvement d'ingression..... 28	28

Figure 19 : encoche de 1 à 2 mm pour réaliser une ingression.	29
Figure 20 : Apport des fonctionnalités G5 puis G7 pour traiter les supraclusions.....	30
Figure 21 : Mouvement de torque	30
Figure 22 : Mouvement de torque avec les CA Power Grip 4 et 5.....	30
Figure 23 : Mouvement de torque avec la pince Tip 4.....	31
Figure 24 : Mouvement de torque radiculo vestibulaire.	31
Figure 25 : Action du Power Ridge.....	32
Figure 26 : Pince Hu-Friedy « Clear Collection » pour réalisation soi-même des points de pression..	32
Figure 27 : Mouvement de version incontrôlée et pseudo-ingression.....	32
Figure 28 : CA® Bubbles et CA® Bubbles activable.....	32
Figure 29 : Mouvement de version avec la pince Tip 3	33
Figure 30 : Critères d'inclusion et d'exclusion	35
Figure 31 : Evaluation de la qualité des études incluses selon les grades de l'HAS.....	37
Figure 32 : Revue de la littérature : Organigramme.....	38
Figure 33 : Répartition du nombre d'articles par année.....	39
Figure 34 : Puissance des études incluses	39
Figure 35 : Récapitulatif des articles inclus dans la revue systématique.....	46
Figure 36 : Proportion des systèmes étudiés	47
Figure 37 : Corrélation recouvrement initial et final.....	49
Figure 38 : Prédicibilités des mouvements dentaires dans le traitement de la supraclusion.	50
Figure 39 : Ratio force / quantité de déplacement.....	51

Figure 40 : Taux de passage à la phase III de l'ABO sur 31 patients.	52
Figure 41 : Mouvements fonction de l'âge : cercles> femmes, carrés> hommes ; ligne continue : modèle de corrélation cubique, pointillés serrés>femmes, pointillés espacés > hommes.....	54
Figure 42 : critères de l'OGS score : aligneurs vs multiattaches	56
Figure 43 : OGS score total : aligneurs VS multiattaches.....	56
Figure 44 : Générations Invisalign® et littérature scientifique	57
Figure 45 : Protocole de prise en charge de la supraclusion	59
Figure 46 : Effets de TIM excessifs sur le torque antérieur : mouvement de « rabbiting »	60
Figure 47 : Difficultés de traitement de la supraclusion d'après Invisalign®.....	61
Figure 48 : Ratio quantité/vélocité des mouvements avec Invisalign®	62
Figure 49 : Minivis et aligneurs	63
Figure 50 : Protocole du Dr Chang avec élastiques de 3,5 oz : vestibuloverision associée à l'ingression.	63
Figure 51 : Choix pour la correction de la supraclusion	65
Figure 52 : Organigramme décisionnel de prise en charge pour un patient hors croissance.....	66
Figure 53 : Stratégie de traitement en fonction de la divergence et du potentiel de croissance du patient..	67

VII. Bibliographie

1. Bocquet E, Moreau A, Decrucq E, Djerbi N, Danguy-Derot C, Danguy M. La genèse de la supraclusion. *Orthod Fr.* sept 2010 ; 81(3):227-34.
2. Orthlieb J-D, Maniere-Ezvan A, Giraudeau A, Re J-P. Recouvrement antérieur. *Mémoclusion.* 2014
3. Philippe J. Les causes de la supraclusion incisive. *Orthod Fr.* déc 2003 ; 74(4):533-5.
4. Boileau M-J, Sampeur M, Duhart A-M, El Amrani K, Bardinnet E. Chapitre 2 : Anomalies verticales. *L'orthodontie de l'enfant et du jeune adulte.* Paris : Elsevier Masson ; 2013.
5. Onghena T. *Supraclusion : bases diagnostiques, objectifs et solutions thérapeutiques [Thèse de doctorat : Chirurgie dentaire].* Université de Marseille ; 2019.
6. Frappier L, Massif L. La classe II,2 dans tous ses états. *Int Orthod.* 2007 ; 5:143-62.
7. Darqué F. La classe II division 2. *Rev Orthop Dento Faciale.* 1974 ; 8:5-57.
8. Ghafari JG, Macari AT, Haddad RV. Deep bite: Treatment options and challenges. *Semin Orthod.* déc 2013 ; 19(4):253-66.
9. Ng J, Major PW, Heo G, Flores-Mir C. True incisor intrusion attained during orthodontic treatment: A systematic review and meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* août 2005 ; 128(2):212-9.
10. Fatih C. Relative intrusion as a result of protrusion : A mathematical perspective. *International Journal of Applied Dental Sciences.* 2017 ; 212-9.
11. Makaremi M. Apport des sciences cognitives à l'optimisation de l'interface entre le praticien et les nouvelles technologies en orthodontie. *Rev. Orthop Dento Faciale.* juin 2016 ; 50(3):335-43.
12. Sheridan et al. Tooth movement with Essix mounding. *J Clin Orthod.* 2004 ; 38(8):435-41.
13. Park JH, Kim TW. Deep-bite correction using a clear aligner and intermaxillary elastics. *J Clin Orthod.* 2009 ; 43(3):152-7.
14. Wong BH. Invisalign A to Z. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002 ; 121(5):540-1.
15. Khan W. Nouveaux concepts de traitement par aligneurs :le système Orthocaps. *Orthod Fr.* 2014 ; 85:253-64.
16. Tai S. *Clear Aligner Technique.* 1^{re} éd. Hanover Park,IL:Quintessence Pub Co ; 2018. 309 p.
17. Bouchez R. *Les traitements orthodontiques Invisalign.* Quintessence International. 2009
18. Lepeltier R. *A la recherche d'une orthodontie invisible [Thèse de doctorat : Chirurgie dentaire].* Université de Nantes ; 2005.

19. Kim TW, Park JJ. Open-bite treatment utilizing clear removable appliances with intermaxillary and intramaxillary elastics. 2009
20. Armbruster, Sheridan, Nguyen. An Essix intrusion appliance. *J Clin Orthod.* 2003 ; 37(8):412-6.
21. Raintree Essix Publication, Essix® appliance technology update : a scientific journal on the fabrication, alteration & retention. 2003 <http://ruhbakhshortholab.com/wpcontent/uploads/ESSIX.pdf>.
22. Chaudret, Fatma. Biomécanique des aligneurs [Thèse de doctorat : Chirurgie dentaire]. Université Paris Descartes ; 2018.
23. Lobiondo PE. Clear-Aligner®. Ripano ; 2013. 436 p.
24. Bowman SJ. Improving the predictability of clear aligners. *Semin Orthod.* mars 2017 ; 23(1):65-75.
25. Schupp W, Haubrich J. Les aligneurs en orthodontie - Diagnostic, biomécanique, planification et traitements. Quintessence publishing France ; 2016.
26. Buschang PH, Ross M, Crosby D, Campbell PM. Predicted and actual end-of-treatment occlusion produced with aligner therapy. *Angle Orthod.* 2015 ; 85:723-7.
27. 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.* sept 2005;128(3):292-8.
28. Kuncio D, Maganzini A, Shelton C, Freeman K. Invisalign and Traditional Orthodontic Treatment Postretention Outcomes Compared Using the American Board of Orthodontics Objective Grading System. *Angle Orthod.* sept 2007;77(5):864-9.
29. Kassas W, Al-Jewair T, Preston CB, Tabbaa S. Assessment of Invisalign treatment outcomes using the ABO Model Grading System. *J World Fed Orthod.* juin 2013;2(2):e61-4.
30. Grünheid T, Loh C, Larson BE. How accurate is Invisalign in nonextraction cases? Are predicted tooth positions achieved? *Angle Orthod.* nov 2017 ; 87(6):809-15.
31. Hennessy J, Garvey T, Al-Awadhi EA. A randomized clinical trial comparing mandibular incisor proclination produced by fixed labial appliances and clear aligners. *Angle Orthod.* sept 2016 ; 86(5):706-12.
32. 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. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* févr 2017 ; 151(2):259-66.
33. Hahn W, Fialka-Fricke J, Dathe H, Fricke-Zech S, Zapf A, Gruber R, et al. Initial forces generated by three types of thermoplastic appliances on an upper central incisor during tipping. *Eur J Orthod.* 1 déc 2009 ; 31(6):625-31.
34. Hahn W, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, Zapf A, Kubein-Meesenburg D, et al. Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a

- maxillary central incisor during tipping. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* juill 2009 ; 136(1):12.e1-12.e7.
35. Hahn W, Zapf A, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, Gruber R, et al. Torquing an upper central incisor with aligners--acting forces and biomechanical principles. *Eur J Orthod.* 1 déc 2010 ; 32(6):607-13.
 36. Gao L, Wichelhaus A. Forces and moments delivered by the PET-G aligner to a maxillary central incisor for palatal tipping and intrusion. *Angle Orthod.* juill 2017 ; 87(4):534-41.
 37. Liu Y, Hu W. Force changes associated with different intrusion strategies for deep-bite correction by clear aligners. *Angle Orthod.* juill 2018
 38. Iliadi A, Koletsi D, Eliades T. Forces and moments generated by aligner-type appliances for orthodontic tooth movement: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res.* 9 juill 2019 ; ocr.12333.
 39. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* janv 2009 ; 135(1):27-35.
 40. Krieger E, Seiferth J, Saric I, Jung BA, Wehrbein H. Accuracy of invisalign® treatments in the anterior tooth region: First results. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie.* avr 2011 ; 72(2):141-9.
 41. Drake CT, McGorray SP, Dolce C, Nair M, Wheeler TT. Orthodontic Tooth Movement with Clear Aligners. *ISRN Dent.* 2012 ; 2012:1-7.
 42. Krieger E, Seiferth J, Marinello I, Jung BA, Wriedt S, Jacobs C, et al. Invisalign® treatment in the anterior region: Were the predicted tooth movements achieved? *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie.* sept 2012 ; 73(5):365-76.
 43. Chisari JR, McGorray SP, Nair M, Wheeler TT. Variables affecting orthodontic tooth movement with clear aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1 avr 2014 ; 145(4, Supplement):S82-91.
 44. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: Incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* juin 2014 ; 145(6):728-36.
 45. Khosravi R, Cohanim B, Hujoel P, Daher S, Neal M, Liu W, et al. Management of overbite with the Invisalign appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* avr 2017 ; 151(4):691-699.e2.
 46. Charalampakis O, Iliadi A, Ueno H, Oliver DR, Kim KB. Accuracy of clear aligners: A retrospective study of patients who needed refinement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018 ; 154(1):47-54.
 47. Castroflorio T, Garino F, Do Alberto L, Debernardi C. Upper-incisors root control with invisalign appliance. *J Clin Orthod.* 2013 ; 47(6):346-51.
 48. 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.* déc 2014 ; 14(1):68.

49. Zhang X-J, He L, Guo H-M, Tian J, Bai Y-X, Li S. Integrated three-dimensional digital assessment of accuracy of anterior tooth movement using clear aligners. *Korean J Orthod.* 2015 ; 45(6):275.
50. Lombardo L, Arreghini A, Ramina F, Huanca Ghislanzoni LT, Siciliani G. Predictability of orthodontic movement with orthodontic aligners: a retrospective study. *Prog Orthod.* déc 2017 ; 18(1).
51. Sfondrini MF, Gandini P, Castroflorio T, Garino F, Mergati L, D'Anca K, et al. Buccolingual Inclination Control of Upper Central Incisors of Aligners: A Comparison with Conventional and Self-Ligating Brackets. *BioMed Res Int.* ; 2018:1-7.
52. Tepedino M, Paoloni V, Cozza P, Chimenti C. Movement of anterior teeth using clear aligners: a three-dimensional, retrospective evaluation. *Prog Orthod.* déc 2018 ; 19(1).
53. Lagravère MO, Flores-Mir C. The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners. *J Am Dent Assoc.* déc 2005;136(12):1724-9.
54. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *Angle Orthod.* sept 2015 ; 85(5):881-9.
55. Rossini G. Controlling orthodontic tooth movement with clear aligners. An updated systematic review regarding efficacy and efficiency. *J Aligner Orthod.* 2017 ; 1(1):7-20.
56. 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.* août 2017 ; 20(3):127-33.
57. Papadimitriou A, Mousoulea S, Gkantidis N, Kloukos D. Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment: a systematic review. *Prog Orthod* 2196-1042, 2018 ; 19(1):1-1.
58. Ke Y, Zhu Y, Zhu M. A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies. *BMC Oral Health* ; 2019.
59. Galan-Lopez L, Barcia-Gonzalez J, Plasencia E. A systematic review of the accuracy and efficiency of dental movements with Invisalign®. *Korean J Orthod.* 2019 ; 49(3):140.
60. Papageorgiou SN, Koletsi D, Iliadi A, Peltomaki T, Eliades T. Treatment outcome with orthodontic aligners and fixed appliances: a systematic review with meta-analyses. *Eur J Orthod.* 2019.
61. de Bernabé PG-G, Montiel-Company JM, Paredes-Gallardo V, Gandía-Franco JL, Bellot-Arcís C. Orthodontic treatment stability predictors: A retrospective longitudinal study. *Angle Orthod.* mars 2017 ; 87(2):223-9.
62. Huang GJ, Bates SB, Ehlert AA, Whiting DP, Chen SS-H, Bollen A-M. Stability of deep-bite correction: A systematic review. *J World Fed Orthod.* 2012 ; 1(3):e89-e86.

Vu, le Président du Jury,

Date, Signature :

Vu, la Directrice de l'UFR des Sciences Odontologiques,

Date, Signature :

Vu, le Président de l'Université de Bordeaux,

Date, Signature :

Collège des Sciences de la Santé

UFR des Sciences Odontologiques

Serment

En présence de mes Maîtres et de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de l'art dentaire.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un honoraire au-dessus de mon travail. Ma langue taira les secrets qui me seront confiés. Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe.

Mes connaissances et mon état ne serviront ni à diffuser des propos non avérés, ni à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des conditions de croyance, de nation et de race viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je promets et je jure de conformer strictement ma conduite professionnelle aux principes et aux règles prescrites par le code de déontologie.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir heureusement de la vie et de ma profession, honoré à jamais parmi les hommes. Si je le viole et que je me parjure, puissé-je avoir un sort contraire.



Discipline : Orthopédie Dento-faciale**Thérapeutique par aligneurs & gestion de la supraclusion : revue systématique**

Résumé : Le développement des aligneurs depuis une vingtaine d'années, en particulier d'Invisalign®, a fait qu'aujourd'hui ceux-ci sont une alternative aux traitements orthodontiques fixes. Nous avons voulu confronter cette technique novatrice à une malocclusion fréquente et parfois complexe à traiter, la supraclusion. Au vu de la littérature scientifique, l'objectif de cette revue systématique a été d'évaluer l'efficacité, la précision et la stabilité du traitement de la supraclusion grâce aux aligneurs. Une recherche électronique a été entreprise à travers les bases de données : **Pubmed, Scopus, Google Scholar et Cochrane Library**. Une recherche manuelle d'articles a également été associée dans des revues scientifiques. **35** articles ont été retenus. Une certaine hétérogénéité des résultats a été constatée et il demeure difficile d'en ressortir des recommandations cliniques claires et consensuelles. D'autres études cliniques sont nécessaires pour évaluer la thérapeutique par aligneurs actuelle vis-à-vis de la supraclusion. Il semble tout de même acquis que les aligneurs peuvent traiter les supraclusions faibles ou modérées de manière relativement prédictible et efficace, en particulier si une vestibuloversion incisive est autorisée. En revanche, si la supraclusion est sévère, chez un patient hors croissance, et qu'une vestibuloversion incisive importante ne peut pas être réalisée, des accessoires tels que les minivis sont rapidement indiqués pour réaliser une ingression antérieure plus importante. Les traitements multiattaches demeurent plus efficaces et plus stables dans les cas complexes. Un **diagnostic précis**, une **connaissance de la biomécanique** spécifique des aligneurs et de ses limites, et l'**optimisation du set up virtuel dynamique** sont les conditions requises pour parvenir à un résultat en adéquation avec les objectifs initiaux de traitement.

Mots-clés : supraclusion, prédictibilité, efficacité, précision, aligneurs, Invisalign®

Summary : The development of the clear aligner therapy for a couple of decades, especially with Invisalign®, made this technique as an alternative to fixed orthodontic treatments. We chose to confront this technique to a frequent disocclusion, and sometimes hard to cure : the deepbite. Considering scientific literature, the objective of this systematic review was to evaluate the efficiency, the accuracy and the stability of the deepbite treatment with aligners. We carried out an electronic research throughout the following databases : **Pubmed, Scopus, Google Scholar and Cochrane Library**. Research were also made in scientific journals. **35** articles were selected. To a certain extent, we noted heterogeneous results and it is still difficult to extract clinical recommendations that would be clear and consensual. More clinical trials are necessary to assess the current aligner therapy towards deepbite. However it seems aligners are able to cure slight to moderate deepbite in quite a predictable way, especially if a buccolingual incisal inclination is authorised. In contrast, if the deepbite is severe for a patient excluding growth, and if an important incisive buccolingual inclination cannot be realized, accessories such as mini-screws are quickly recommended in order to realise a better anterior intrusion. Fixed appliances are still more efficient and more stable in complex cases of deepbite. An accurate **diagnosis**, a specific **biomechanic knowledge** of aligner appliances and their limits, and the **optimisation of the dynamic virtual set-up** are the necessary conditions to achieve a matching result with the initial objectives of treatment.

Key-words : deepbite, predictability, efficacy, accuracy, aligner, Invisalign®,Université de Bordeaux – Collège des Sciences de la Santé
UFR des Sciences Odontologiques