



**HAL**  
open science

# Quantité de distalisation maxillaire par aligneurs dans le traitement des classes II chez l'adulte et effets parasites : revue systématique de la littérature

Eva Marie Edith Ilharreguy

## ► To cite this version:

Eva Marie Edith Ilharreguy. Quantité de distalisation maxillaire par aligneurs dans le traitement des classes II chez l'adulte et effets parasites : revue systématique de la littérature. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-03863389

**HAL Id: dumas-03863389**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03863389>**

Submitted on 21 Nov 2022

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

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

**U.F.R. D'ODONTOLOGIE**

Année 2022

Thèse n°33

THESE POUR L'OBTENTION DU

**DIPLÔME D'ÉTAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE  
DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement

Par ILHARREGUY, Eva, Marie, Edith

Née le 1 août 1996 à PAU

Le 10 Juin 2022

**QUANTITÉ DE DISTALISATION MAXILLAIRE PAR  
ALIGNEURS DANS LE TRAITEMENT DES CLASSES II  
CHEZ L'ADULTE ET EFFETS PARASITES : REVUE  
SYSTÉMATIQUE DE LA LITTÉRATURE**

Sous la direction de : Etienne BARDINET

Membres du jury :

Mlle BOILEAU Marie-José  
M BARDINET Etienne  
M BAZERT Cédric  
M LAFITTE Antoine

Professeur des Universités  
Maitre de Conférence des Universités  
Maitre de Conférence des Universités  
Assistant Hospitalo-Universitaire

Président  
Directeur  
Rapporteur  
Assesseur

# UNIVERSITE DE BORDEAUX

MAJ  
31/01/22

<b>Président</b>	M. LEWIS Dean
<b>Directeur de Collège des Sciences de la Santé</b>	M. PELLEGRIN Jean-Luc

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

<b>Directrice</b>	Mme BERTRAND Caroline	58-01
<b>Directeur Adjoint à la Pédagogie</b>	Mr DELBOS Yves	56-01
<b>Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche</b>	M. CATROS Sylvain	57-01
<b>Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales</b>	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	Dentisterie 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	FRICAIN	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	Audrey	AUSSEL	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mme	Cécile	BADET	Biologie Orale	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	Mathilde	FENELON	Chirurgie Orale	57-01
Mme	Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Dominique	GILLET	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Olivia	KEROUREDAN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M.	Jean-François	LASSERRE	Prothèse dentaire	58-01
M.	Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme	Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01

M.	Adrien	NAVEAU	Prothèse dentaire	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	Biologie Orale	57-01
M.	Eric	VACHEY	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01

### **AUTRES ENSEIGNANTS**

M.	François	ROUZÉ L'ALZIT	Prothèse dentaire	58-01
M	Pierre-Hadrien	DECAUP	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Karine	LEVET	CDD LRU Santé publique	56-02

### **ASSISTANTS**

M.	William	AUMAILLEY	Prothèse dentaire	58-01
M.	Bastien	BERCAULT	Chirurgie Orale	57-01
M.	Baptiste	BERGES	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Virginie	CHUY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Diane	DELADRIERE	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M	Quentin	DESPERIEZ	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Laura	DONNET	Biologie Orale	57-01
Mme	Julia	ESTIVALS	Odontologie pédiatrique	56-01
Mme	Laurie	FUCHS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Paul	GIRARDEAU	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mr	Pierre-André	GUILLAUD	Parodontologie	57-01
Mme	Jane	GOURGUES	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mr	Louis	HUAULT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mme	Mathilde	JACQUEMONT	Parodontologie	57-01
Mr	Aymeric	JOUBERT DU CELLIER	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mr	Jean-Baptiste	IRIBARREN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
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,	Xavier	LAGARDE	Chirurgie Orale	57-01
Mme	Mathilde	LEVRIER	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Léa	MASSE	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Chiara	PASCALI	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Rawen	SMIRANI	Parodontologie	57-01
Mme	Florianne	VILLAT	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M.	Clément	VACHEY	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 engagement dans notre formation, pour votre patience et le partage de  
vos connaissances. Votre rigueur et votre savoir est une valeur indispensable dans notre internat qui  
nous pousse à la progression.  
Que cette thèse témoigne de ma reconnaissance et mon profond respect.*

### **A notre Directeur de thèse**

Monsieur le Docteur Etienne BARDINET  
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,  
Vous avez accepté patiemment de me soutenir et m'accompagner tout au long de ce travail et  
apprendre de vous a été un plaisir, autant dans cette rédaction que lors des vacations cliniques. Vos  
qualités humaines qui s'ajoutent à votre expertise font de vous l'enseignant parfait, dont je garderai  
un très bon souvenir.  
Je tiens à vous témoigner à travers ce travail ma gratitude et mon plus sincère respect.*

### **A notre Rapporteur de thèse**

Monsieur le Docteur Cédric BAZERT  
Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier  
Sous-section Orthopédie Dento-Faciale 56-01

*A vous qui me faites l'honneur de juger mon travail et de participer à ce jury,  
Merci pour votre dévouement durant notre formation, vos cours et vos conseils en clinique nous sont  
précieux à tous. Je vous remercie également pour votre disponibilité, votre bienveillance et votre  
gentillesse.  
Veuillez recevoir mes plus respectueux remerciements.*

### **A notre Assesseur**

Monsieur le Docteur Antoine LAFITTE

Assistant hospitalo-universitaire

Sous-section Orthopédie-Dento-Faciale 56-01

*Je te remercie de l'honneur et du plaisir que tu me fais en acceptant de faire partie de ce jury de thèse. La passion que tu as pour l'orthodontie et l'investissement dont tu as fait preuve pour nous l'enseigner t'ont rendu indispensable pendant notre formation. Au-delà de ça, je te remercie pour ta bonne humeur, ton humour et ton dynamisme. Je te souhaite le meilleur pour ton avenir personnel et professionnel, tu le mérites.*

### **A tous les enseignants du service d'ODF,**

*Pour votre bienveillance et votre enseignement complet qui nous ont apporté les outils nécessaires pour exiger de notre pratique un travail de perfection.*

### **A Camille et Myriam,**

*Merci d'avoir été aussi investies durant votre assistanat, vos conseils m'ont beaucoup aidé durant ma formation, et ils continueront de m'apporter par la suite. Vous êtes non seulement des orthodontistes douées, mais aussi de belles personnes que je suis heureuse de connaître.*

### **Au docteur Makaremi,**

*Merci de me faire confiance et de m'avoir aussi bien accueilli toi et ton équipe. C'est à chaque fois un vrai plaisir de venir au cabinet, toujours dans le partage et dans la bonne humeur.*

## **A ma famille,**

### **A ma mère,**

*Pour l'éducation que tu m'as apportée, pour ton amour inconditionnel et ton soutien indéfectible, pour avoir fait tout ce qui est nécessaire pour que je sois là aujourd'hui, pour tes allers-retours à Bordeaux et pour avoir supporté ma mauvaise humeur. Te rendre fière est mon plus beau cadeau.*

### **A mon père,**

*Merci d'être celui que tu es, ma plus grande fierté est d'avoir un Papa comme toi. Malgré des périodes difficiles, l'amour que tu portes à tes filles et tout ce que tu fais pour nous font de toi le père exceptionnel que tu es. Merci d'avoir toujours cru en moi, « fingers in the nose » comme tu disais. J'ai hâte de partager avec toi ces 3 semaines à l'autre bout du monde.*

### **A ma sœur,**

*Merci pour la grande sœur que tu es, ta détermination a toujours été un exemple pour moi. Celle que tu es devenue aujourd'hui me rend fière. Tu es la personne que j'aime le plus et en qui j'ai le plus confiance. Tu m'as fait le plus beau cadeau en me rendant tata et je t'en remercie. Merci aussi à mon beaufrère à qui je tiens beaucoup. A Lou, ma filleule, je serais toujours là pour toi, te voir grandir me rend tellement heureuse.*

### **A ma grand-mère,**

*A Didi, je te remercie d'avoir pris soin de moi pendant mes études. De tes jus d'oranges pressés les matins d'écoles à tes soupes d'hiver pendant mes concours, grandir à tes côtés et à ceux de Papi a été une chance incroyable.*

### **A mes grands-parents, mes tantes, mes cousins et ma cousine,**

*Amani, Papi, Tatinou, Tati Laure et mes cousins. Je ne vous vois pas assez, mais dès la fin de mes études, je vais remédier à ça.*

## **A mes amis,**

### **A Louise,**

*Je suis tellement fière de t'avoir comme amie. Tu es toujours souriante, pleine de joie de vivre et partante pour tout. Tu as toujours été là quand j'en ai eu besoin, et tu as toujours su te réjouir pour moi avec sincérité. Notre amitié fait partie des choses que je ne veux jamais voir changer.*

### **A Flora,**

*Merci d'être cette amie que tu es depuis toutes ces années. Même si je serai très triste que tu partes loin, je souhaite que tu trouves ta voie, et si c'est la dentisterie, je serais à tes côtés du début à la fin, et que tu deviennes une consœur serais pour moi une fierté incroyable.*

**A Juju et Théo,** *mes amis du lycée qui perdurent malgré le temps et la distance. C'est toujours un immense plaisir de vous revoir après de nombreux mois, même si c'est beaucoup trop long à chaque fois.*

### **A Loïc,**

*Merci pour ces moments de rires, de fous rires, et surtout d'avoir été là quand j'en ai eu besoin (merci aussi à Oscar pour ses calins). Tu es l'une des plus belles personnes que je connaisse et j'espère t'avoir à mes côtés, même si ce n'est que pour une corde par an, toute ma vie. Je te souhaite tout le bonheur avec Esma.*

### **A Chloé,**

*T'avoir comme amie est une chance incroyable, tu es généreuse, souriante, et je sais que tu répondras toujours présentes si j'en ai besoin. Merci pour tout.*

## **A mes co-internes,**

A Salomé,

*Qui aurait cru qu'une parisienne si différente de moi serait devenue mon binôme d'internat. Ta folie, tes vocaux sans fins et tes histoires personnelles n'ont cessé de me faire rire (et de me désespérer parfois...souvent). Ton rire de sagouine va me manquer. Merci pour ces moments et pour ton soutien. Ne change rien, je te souhaite tout le bonheur que tu mérites.*

A Marie,

*Ton franc parlé nous a toujours étonné, mais c'est pour ça que tu es l'élément indispensable de notre promotion. On s'est découverte un peu trop tard, mais je t'apprécie beaucoup (toi aussi je le sais), surtout en soirée quand tu deviens soudainement gentille et que tu me rappelles de boire de l'eau. J'ai adoré partager ces années avec toi, et je suis certaine que tu seras une excellente orthodontiste. Je ne manquerai pas de te rappeler que nous sommes presque amis, même quand tu seras parisienne.*

A Clara,

*Ton naturel, ta gentillesse et ton humour te rende vraiment attachante et très agréable à vivre, maintenant on partage des céréales ensemble et j'en suis très heureuse. Aux oubliettes Montrouge, je veux bien être Mandy... Merci pour le soutien que l'on s'apporte cette dernière année. Je te souhaite plein de bonheur dans ta vie familiale et professionnelle.*

A Cécile,

*Tu es une personne vraie et sincère et c'est ce que j'apprécie chez toi. Discuter avec toi est toujours un plaisir. Je suis heureuse d'avoir partagé cette formation avec toi, je te souhaite le meilleur pour la suite.*

Aux autres,

*BK orthodontics, celui auprès de qui j'adore râler et ma confier, j'espère encore avoir l'occasion de descendre des pistes de snow avec toi (et te dépasser). Merci de m'avoir accompagné à mes pauses du midi sous la pluie.*

*Joséphine, toujours agréable, souriante, et toujours jolie (c'est fatiguant). Il n'y a que sur une planche de wake que tu n'es pas au top...*

*Clara, le cœur sur la main, tellement agréable mais surtout tellement déchainée en soirée (je n'en reviens toujours pas).*

*Camille, t'entendre parler à tes patients de l'autre côté de ma porte font passer mes pvpp tellement plus vite, merci pour ta maladresse et ton franc parlé qu'on adore tous.*

*Claire, tellement spontanée, tu es la seule fille capable de boire des bières avec tes orteils de pieds .... Apparemment on se ressemble, c'est peut-être pour ça que j'ai eu un petit coup de cœur pour toi.*

*Sarah, toujours sapée comme jamais, makeupée à la perfection, et maintenant avec un sourire parfait ... max a intérêt de prendre soin de toi (mais je n'en doute pas). C'est un très grand plaisir de partager ma dernière année avec toi.*

*Julie, calme, sensible, et tellement vraie, une personnalité attachante que j'aurai aimé apprendre à découvrir un peu plus.*

*Edouard, doudou la crème de la crème toujours avec la patate, aussi sérieux que fêtard, le co-interne parfait que j'aurai rêvé avoir dans ma promotion (en plus tu as un chien, même si c'est par alliance). Hâte de voir tes 360 !*

*Thibaut, le padre du PQR qui fait de magnifiques photos des orifices nasaux, et avec qui j'adore partager une bière et un mur d'escalade.*

*Et les anciens Luc, Manon, Camille, Sunchine, Aurore, Corentin .... Ça a (presque) été un plaisir de partager les galères du PQR avec vous.*



## **A toute la famille Osmosia,**

*Poka, ma plus belle rencontre, merci d'être comme tu es, tu es l'ami (ou le grand frère) que j'ai toujours rêvé d'avoir, le premier que j'ai envie d'appeler quand je m'ennuie. A Moka, ma plus belle surprise, tu es la corse la plus drôle et la plus têtue que je connaisse, Gardez votre complicité, elle nous fait rêver à tous.*

*A Dim, même si tu me mets la raclé à la pétanque (rarement) et en Wake (c'est dur d'écrire ça), tu es mon voisin préféré. Merci pour ta générosité naturelle et pour tes conseils avec Samba. On a beaucoup de chance de t'avoir.*

*A Hélène, ma copine de ride, apprendre de nouveaux tricks avec toi est toujours un plaisir, j'espère que l'on prendra des careback ensemble encore longtemps.*

*A Claire, ma copine ortho-rideuse (la seule). Merci pour tes conseils, tu es une orthodontiste douée et surtout consciencieuse, dont je vais essayer de prendre exemple. Je vous souhaite le meilleur pour la suite avec Ben.*

*A Polo, Max, Didi, Goulven, Sam et Chloé, Mika et tous les autres, merci pour tous ces moments.*

*A Sandy, merci pour tes séances d'ostéo, mais surtout pour la bonne humeur que tu mets au lac quand tu es là.*

*A Hugo, meilleur coach et meilleur pêcheur, et à Audrey, je suis heureuse que vous fassiez partie de notre cercle d'amis. Merci pour les soirées belote et top chef. Hâte de venir scoiter chez vous au Costa Rica.*

*A Tommy, merci pour tes cannelés et ton champagne, j'espère te voir plus souvent sur une planche que dans ta tenue de commercial. Je vous souhaite tout le bonheur avec Jess et votre petit garçon.*

*Aux Anciens, les Grolèu, les Mazeau, Ti sushi ... et aux croods, merci de m'avoir accueilli dans cette grande famille du lac comme vous l'avez fait. Les étés à vos côtés sont de loin les meilleurs que j'ai passés.*

## **A Tom,**

*Merci de me soutenir dans tout ce que je fais, d'avoir tous ces projets avec moi, les mêmes rêves et les mêmes passions que moi, la même façon de voir l'avenir, et surtout merci de me rendre heureuse comme tu le fais. Je sais la chance que j'ai de t'avoir et j'ai hâte de commencer vraiment notre vie à deux (A trois, avec notre petite Samba). Peut-être que ce sera, on sera bien, j'en suis sûre. T'aime.*

## Table des matières

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>13</b>
<b>I. GENERALITES .....</b>	<b>14</b>
<b>1) LA DISTALISATION MAXILLAIRE DANS LES CAS DE CLASSE II CHEZ L'ADULTE.....</b>	<b>14</b>
a) Indications.....	14
b) Limites et stabilité .....	15
(1) Limites anatomiques .....	15
(2) Stabilité .....	16
c) Principes biomécaniques .....	17
(1) Le recul molaire : .....	17
(2) Notion d'ancrage :.....	19
d) Moyens de distalisation maxillaire .....	20
(1) Dispositif extra-oral.....	20
(2) Dispositifs à ancrage dentaire.....	20
• Dispositifs à appui intra-arcade : .....	21
• Dispositifs à appui inter-arcade : .....	21
(3) Dispositifs à ancrage osseux .....	22
e) Mouvements retrouvés lors de la distalisation maxillaire .....	23
(1) L'expansion.....	23
(2) Le recul molaire .....	23
• La disto-version molaire : .....	23
• La disto-rotation molaire :.....	25
(3) Perte d'ancrage.....	26
(4) Effets dento-alvéolaires secondaires au port des élastiques de classe II .....	26
<b>2) CAS PARTICULIER DE LA DISTALISATION MAXILLAIRE PAR ALIGNEURS : PRINCIPES BIOMÉCANIQUES .....</b>	<b>27</b>
a) Historique des aligneurs .....	27
b) Avantages et inconvénients des traitements par aligneurs .....	28
c) Distalisation maxillaire par aligneurs : .....	29
(1) Indications : .....	29
(2) Principes de la distalisation séquentielle.....	30
(3) Moyens de renfort d'ancrage : .....	32
<b>II. REVUE SYSTÉMATIQUE .....</b>	<b>39</b>
<b>1) CONTEXTE DE L'ETUDE .....</b>	<b>39</b>
<b>2) OBJECTIFS DE L'ETUDE.....</b>	<b>39</b>
<b>3) MATERIELS ET MÉTHODES.....</b>	<b>39</b>
a) METHODE DE RECHERCHE DES ETUDES.....	39
(1) Stratégie de recherche et équation .....	40
(2) Critères d'éligibilité .....	40
• Critères d'inclusion .....	40
• Critères d'exclusion .....	41
(3) Sélection des articles.....	42
(4) Critères de jugement.....	43
(5) Extraction des données et synthèse.....	43
b) RESULTATS .....	44
(1) Description des études.....	44
(2) Présentation des articles .....	48
(3) Système étudié .....	49
(4) Population étudiée dans les différents articles.....	49

(5) Analyse des critères de jugement.....	50
• La quantité de distalisation et le temps de traitement :.....	50
• Les effets parasites consécutifs à la distalisation molaire :.....	54
• Moyens permettant de limiter les effets parasites.....	57
<b>III. DISCUSSION .....</b>	<b>63</b>
<b>1) CRITIQUE DE LA METHODE .....</b>	<b>63</b>
a) Recueil et sélection des articles.....	63
b) Critères d'inclusion et d'exclusion.....	64
<b>2) CRITIQUE DES RESULTATS.....</b>	<b>64</b>
a) Justification du choix de traitement par distalisation.....	64
b) Technique de mesures dans les études in vitro :.....	65
c) Technique de quantification de la distalisation.....	66
d) Mesures des effets parasites.....	67
e) Protocole utilisé.....	68
f) Résultats .....	68
g) Récidive / stabilité .....	69
<b>IV. SYNTHÈSE.....</b>	<b>70</b>
<b>1) CLINCHECK : LES TAQUETS.....</b>	<b>70</b>
a) Sur les molaires : Cela dépend .....	70
b) Sur les prémolaires et les canines :.....	71
c) Sur les incisives :.....	72
<b>2) CLINCHECK : AUTRES .....</b>	<b>73</b>
<b>3) TEMPS DE PORT DES ALIGNEURS :.....</b>	<b>73</b>
<b>4) PORT DES ELASTIQUES :.....</b>	<b>74</b>
<b>V. INTERET D'UN MEMOIRE CLINIQUE.....</b>	<b>74</b>
<b>VI. CONCLUSION.....</b>	<b>76</b>
<b>VII. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>78</b>
<b>VIII. TABLE DES ILLUSTRATIONS .....</b>	<b>83</b>
<b>IX. TABLE DES TABLEAUX .....</b>	<b>84</b>

**Titre : QUANTITE DE DISTALISATION MAXILLAIRE PAR ALIGNEURS DANS LE TRAITEMENT DES CLASSES II CHEZ L'ADULTE ET EFFETS PARASITES : REVUE SYSTEMATIQUE DE LA LITTERATURE.**

**Résumé :**

**Objectif :** L'objectif principal de cette revue est de quantifier le recul maxillaire que l'on peut obtenir grâce à la technique de distalisation séquentielle par aligneurs dans les classes II d'Angle chez l'adulte.

Les objectifs secondaires sont de déterminer les effets parasites à ce mouvement et l'impact de la quantité de distalisation sur leur nature et leur intensité. Enfin, le dernier objectif consiste à déterminer les méthodes pour limiter ces effets.

**Matériel et méthode :** Une revue systématique a été effectuée à partir des bases de données bibliographiques suivantes : Pubmed, Scopus, Google Scholar et Cochrane Library, les études allant de décembre 2005 à février 2022. Cette recherche a été complétée par une recherche manuelle portant sur la bibliographie des articles initialement sélectionnés.

**Résultats :** La recherche a identifié 25 articles dont 11 correspondaient aux critères d'inclusion. Une certaine hétérogénéité des résultats a été constatée et il semble difficile d'en ressortir des recommandations cliniques claires et consensuelles.

**Conclusion :** D'autres études cliniques sont nécessaires pour évaluer la thérapeutique de distalisation maxillaire chez l'adulte par aligneurs. Il semble tout de même acquis que ce mouvement est prédictible jusqu'à 2,5mm avec un bon contrôle des effets parasites à condition que les critères cliniques (port des élastiques, taquets, port des aligneurs ...) soient respectés et adaptés à chaque cas.

**Mots clés :** Aligneurs, distalisation maxillaire, adultes, effets parasites

**ABRÉVIATIONS :**

FEO: forces extra-oraales

DDM : dysharmonie dento-maxillaire

IBMD : l'Intraoral Bodily Molar Distalizer

DNT : Distaliseur NiTi

BAPA : Bone-Anchored Pendulum Appliance

DAC : Distal Active Concept

TIM : Élastiques inter-maxillaires

OIM : Occlusion d'intercuspidie maximale

CAD-CAM : Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing

ATT : Attachements

MEF : Méthode des éléments finis

**Title : AMOUNT OF MAXILLARY DISTALISATION WITH CLEAR ALIGNER IN THE TREATMENT OF CLASS II IN ADULTS AND PARASITIC EFFECTS : A SYSTEMATIC REVIEW.**

**Abstract :**

Purpose: The main objective of this review is to quantify the maxillary distalization that can be obtained using the sequential distalization technique with aligners in Angle class II in adults.

The secondary objectives are to determine the parasitic effects of this movement and the impact of the amount of distalization on their nature and intensity. Finally, the last objective consists in determining the methods to limit these effects.

Material and method: A systematic review was carried out using the following bibliographic databases: Pubmed, Scopus, Google Scholar and Cochrane Library, studies ranging from December 2005 to February 2022. This search was supplemented by a manual search on the bibliography of the articles initially selected.

Results: The search identified 25 articles of which 11 met the inclusion criteria. A certain heterogeneity of the results was observed and it seems difficult to come out with clear and consensual clinical recommendations.

Conclusion: Further clinical studies are needed to evaluate maxillary distalization therapy in adults using aligners. All the same, it seems certain that this movement is predictable up to 2.5 mm with good control of parasitic effects provided that the clinical criteria (wearing of elastics, attachments, wearing of aligners, etc.) are respected and adapted to each case.

**Keywords :** Aligners, maxillary distalisation, adults, parasitic effects

## **INTRODUCTION**

La malocclusion de classe II est une dysmorphose qui peut résulter de différentes composantes squelettiques et/ou alvéolaires d'origine maxillaire et/ou mandibulaire. Dans les cas de classes II dentaires par dérive mésiale des molaires maxillaires, il est parfois intéressant de reculer ces dernières, pour éviter, dans certaines situations, des extractions de prémolaires.

En technique multi-attaches, cette thérapeutique est désormais largement utilisée. Cependant, un nombre croissant de patients adultes expriment le désir d'alternatives esthétiques et confortables aux appareillages fixes. Grâce à la technique de distalisation séquentielle proposée par Invisalign, la possibilité de reculer les molaires maxillaires n'est plus à prouver. Cependant, ce recul présente certaines limites avec une stabilité qui reste à prouver. En effet, ce mouvement entraînerait des effets parasites qui limiteraient sa faisabilité. Il est donc intéressant de déterminer quels sont ces effets indésirables et leur sévérité en fonction de la quantité de distalisation, ainsi que les méthodes qui permettraient de les limiter.

Dans un premier temps nous ferons quelques rappels sur la distalisation maxillaire en technique multi-attaches puis par aligneurs. Ensuite, nous présenterons une revue systématique de la littérature sur la distalisation à l'arcade maxillaire par aligneurs, en développant les effets parasites qu'elle peut engendrer, et les moyens mis en œuvre pour les limiter.

# **I. GENERALITES**

## **1) LA DISTALISATION MAXILLAIRE DANS LES CAS DE CLASSE II CHEZ L'ADULTE**

Dans certains cas de classe II, la distalisation des molaires maxillaires permet de gagner 2 à 3mm d'espace sur l'arcade et d'obtenir une classe I, tant chez l'adolescent que chez l'adulte.

Les molaires maxillaires peuvent être distalisées par des forces extra-orales ou des forces intra-orales. (1) La traction extra-orale avec des forces extra-orales (FEO) a longtemps été utilisée dans les cas de classes II car leur conception permettait un recul du maxillaire et des molaires maxillaires. Cependant, cette technique nécessitait une coopération importante de la part des patients.

Ces dernières décennies, plusieurs techniques ont été développées pour diminuer le besoin de coopération du patient, avec des forces intra-orales, avec ou sans ancrage squelettique.

Toutes ces techniques peuvent produire des effets indésirables pendant la distalisation, comme la version molaire et/ou la perte d'ancrage antérieure. (2)

### **a) Indications**

Dans les cas de classe II d'Angle, le diagnostic étiologique est primordial car le choix thérapeutique va en dépendre.

La distalisation des molaires maxillaires est indiquée :

- Dans les cas de classe II d'Angle par dérive mésiale des molaires maxillaires provoquée par une perturbation de la séquence de remplacement des dents temporaires (extractions précoces, dents retenues, mésioposition) ou par un contexte dysfonctionnel (comportement de succion).
- Dans des cas de classe I ou de classe II squelettique modérée, avec une dysharmonie dento-maxillaire (DDM) faible à modérée.
- Enfin, dans les cas de classe III, une distalisation maxillaire peut être nécessaire dans un but de décompensation avant une chirurgie.

La distalisation de l'arcade maxillaire offre une option peu invasive pour le traitement des classes II. En présence d'une arcade mandibulaire avec un faible encombrement et une proalvéolie modérée, les extractions de prémolaires

mandibulaires n'étant pas nécessaires, la distalisation maxillaire est une solution permettant d'éviter l'avulsion de prémolaires maxillaires. Ainsi, dans les cas de classe II chez l'adulte, la distalisation maxillaire permet la correction des rapports molaires et canins grâce à un recul de l'ensemble de l'arcade dans un second temps.

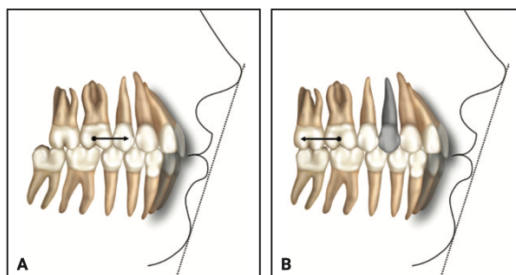


Figure 1 : A. Relations entre l'occlusion initiale et finale et le profil des tissus mous après extraction des premières prémolaires supérieures dans le traitement de classe II. B. Relations entre l'occlusion initiale et finale et le profil des tissus mous après distalisation molaire dans le traitement sans extraction de classe II.

Cependant, le recul des molaires maxillaires est contre-indiqué chez les patients en fin ou hors croissance dans les cas :

- De classe II par disto-position mandibulaire, qu'elle soit dentaire ou basale. En effet, le risque des répercussions esthétiques du recul maxillaire sur un profil déjà rétrusif va guider le choix thérapeutique.
- D'encombrement maxillaire et/ou mandibulaire sévère : des extractions seront plus indiquées (3). Cependant, dans certains cas de DDM sévère, la distalisation maxillaire pourrait être associée à des avulsions ce qui permettra une moindre mésialisation de l'arcade mandibulaire.
- D'excès vertical (contre-indication relative) : certains appareils entraîneraient une égression molaire lors de la distalisation et donc une ouverture du schéma facial.

## **b) Limites et stabilité**

### *(1) Limites anatomiques*

Les résultats de certaines études (4) (5) soulignent l'importance de la relation entre les racines des molaires à distaliser et l'os cortical correspondant dans la réussite d'une distalisation dans un délai acceptable et sans effets secondaires (par exemple, version dentaire excessive, résorption radiculaire). En conséquence, les facteurs anatomiques locaux influençant l'interface racine-os cortical doivent être évalués :



- La procidence sinusienne (1 sur le schéma)
- La largeur de l'alvéole (2 sur le schéma)
- La distance racine-os cortical (3 sur le schéma)
- La hauteur d'os cortical (4 sur le schéma)
- La longueur (5 sur le schéma) et la morphologie de la racine
- La largeur de la molaire (6 sur le schéma)
- La présence des troisièmes molaires : Selon Gianelly et al, (6) en présence de troisième molaire, si la distance rétro-molaire est insuffisante, celles-ci devront être extraites avant d'envisager une distalisation. Au contraire, Kook et al. ne rapportent aucune différence de quantité de distalisation et de version de la première molaire maxillaire en présence ou non de la troisième molaire. (7) Cependant, ces résultats doivent être abordés avec prudence en raison de la petite taille de l'échantillon du groupe sans extraction.

Ainsi, l'analyse sur imagerie 3D permettrait d'évaluer ces caractéristiques locales et de guider le choix et la technique thérapeutique.

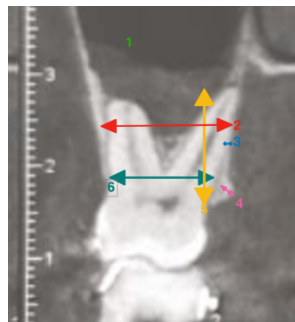


Figure 2 : facteurs anatomiques limitant le recul d'une deuxième molaire maxillaire (sinus procident, alvéole peu large, très faible distance racine-os cortical, racine longue). Image personnelle

## (2) Stabilité

Il a été démontré à plusieurs reprises que les molaires maxillaires qui ont été déplacées distalement retournent au fil du temps dans leur position d'origine. (8) (9) (10)

Selon Cattaneo et Melsen (11), pour la première molaire maxillaire, cela signifie un retour juste en dessous de la crête infra-zygomatique. Cela s'explique par l'importance de la crête dans le transfert de charge maxillaire des forces d'occlusion molaire. Plus les molaires seraient déplacées distalement par rapport à leur position physiologique, plus leur support osseux environnant deviendrait flexible. Ainsi, les forces occlusales génèrent un basculement distal du plan d'occlusion. Les

modifications du plan d'occlusion ont une forte tendance à la récurrence après traitement. (12)

De plus, lorsqu'une molaire est laissée en disto-version, elle n'aura un contact occlusal que par sa crête mésiale. Ainsi, la pression verticale sur cette crête provoquera une version mésiale de la molaire ; elle se redressera en poussant vers l'avant les dents qui la précèdent.

En 2016, une étude cherchant à évaluer la stabilité de la version mésio-distale des molaires maxillaires cinq ans après traitement avec Pendulum a révélé que les premières molaires avaient tendance à retrouver leur inclinaison initiale. (13)

### c) Principes biomécaniques

#### (1) Le recul molaire :

Une force antéro-postérieure appliquée sur les dents permet de les déplacer dans une situation plus distale.

Le centre de résistance de la molaire maxillaire se trouve dans la zone de furcation radiculaire si le contexte parodontal est sain. Dans le plan horizontal, il est plus proche de la racine palatine.

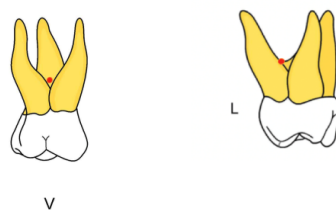


Figure 3 : centre de résistance de la molaire maxillaire

Lorsque la force de distalisation passe par le centre de résistance de la dent, le mouvement engendré est une translation distale. Cependant, le plus souvent, la ligne d'action de la force de distalisation ne passe pas par le centre de résistance de la molaire.

Dans ce cas, l'application de la force engendre la création d'un moment (M) à l'origine d'un mouvement de version (figure 4), combinaison d'une translation et d'une rotation. Ce moment (M) est égal au produit de l'intensité de la force (F) par la distance orthogonale (d) de sa ligne d'action au centre de résistance.

$$M = F \times d$$

Plus le point d'application de la force s'éloigne du centre de résistance de la dent, plus le moment résultant de la force appliquée augmente, en conséquence le mouvement de rotation est accentué au détriment du mouvement de translation.

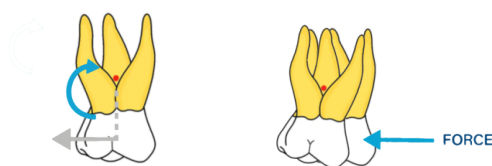


Figure 4 : Moment de version associé au recul créé lors de l'application d'une force de distalisation (recul + rotation dans le plan horizontal).

En présence d'une molaire maxillaire mésio-versée, ce mouvement de disto-version sera souhaité et le contrôle de cet effet ne sera donc pas nécessaire.

Si la molaire est bien positionnée dans l'axe frontal, un contrôle de la version sera primordial. (Figure 5)

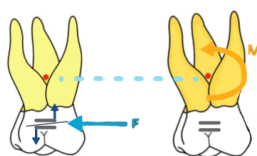


Figure 5 : La création d'un moment de version dans la direction opposée permet de résister à la tendance de version de la dent lors de l'application de la force de distalisation.

Ainsi, lors de la distalisation maxillaire, le recul de la molaire est souvent la résultante de la combinaison de trois mouvements :

- Une part de translation
- Une disto-version
- Une disto-rotation : Le centre de rotation de la molaire se trouve au niveau de la racine palatine, la rotation se produit donc autour d'elle.

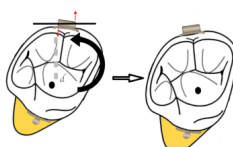


Figure 6 : Dérotation molaire.

De plus, un effet vertical s'ajoute à ces mouvements. Lors du recul, la disto-version se traduit par une égression de la cuspide mésio-vestibulaire.

(2) *Notion d'ancrage :*

La distalisation maxillaire repose sur la notion d'ancrage. L'ancrage est la résistance des dents que l'on ne souhaite pas mobiliser (ancrage stable), et la résistance des dents à effectuer un mouvement (ancrage mobile).

L'application d'une force sur un corps crée une réaction sur ce corps en direction opposée. En effet, la troisième loi de Newton stipule que lorsqu'un corps A exerce sur un corps B une action mécanique représentée par une force  $F(B/A)$ , le corps B exerce sur A une action représentée par une force  $F(A/B)$ .

$$F(B/A) = -F(A/B)$$

La contre-force mésiale engendrée entraîne des effets parasites que l'on va développer par la suite. (Figure 15)

C'est pourquoi, des moyens d'ancrage sont indispensables lors des mouvements de la distalisation.

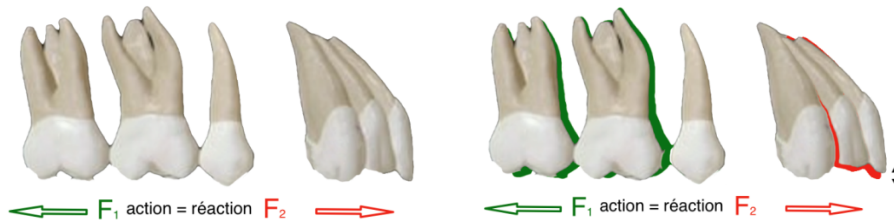


Figure 7 : Forces générées lors d'une distalisation maxillaire. A) Une force exercée par un corps sur un autre génère une force égale et de direction opposée sur le corps qui l'exerce (troisième loi de Newton). B) Une version vestibulaire et une légère ingression incisive peut apparaître en cas de perte d'ancrage.

La valeur d'ancrage (14) des dents est en relation avec leur volume, leur longueur radiculaire, leur nombre de racine(s), leur position sur l'arcade, le type osseux et certains facteurs individuels.

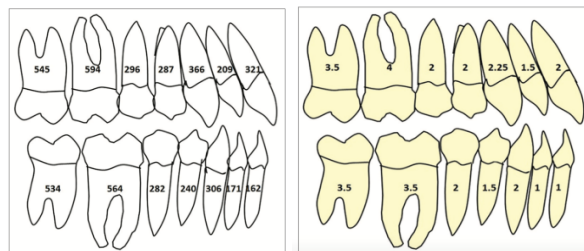


Figure 8 : (a) Valeurs moyennes du volume radiculaire de chaque dent. (b) Coefficients d'ancrage pour chaque dent selon Nabbout-Faure. (14)

Les valeurs d'ancrage des arcades ou des groupes dentaires solidarisés s'obtiennent simplement par sommation des coefficients d'ancrage des différentes dents composant le groupe.

#### d) Moyens de distalisation maxillaire

Le recul des molaires se fait grâce à une force exercée à partir d'un point d'appui qui peut être extra-oral, dentaire et/ou muqueux, ou osseux :

##### (1) Dispositif extra-oral

(15) La force extra-orale (FEO) a l'avantage de permettre, en modifiant la position, la longueur et l'angulation des branches, de modifier le mouvement molaire selon les besoins (Figures 9, 10). Cependant, son utilisation est devenue plus rare du fait d'une coopération difficile. Ceci en est de même pour les forces directionnelles qui permettent un soutien d'ancrage antérieur.

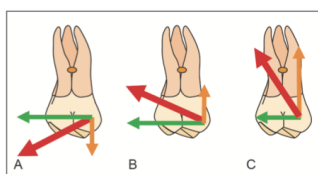


Figure 9 : Forces exercées sur la molaire pour une même longueur ou position de branche

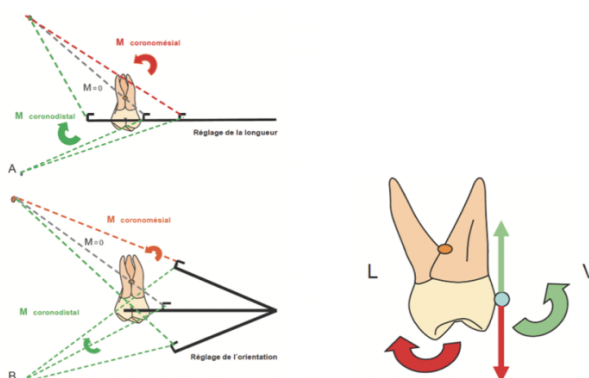


Figure 10 : : **Gauche** : Influence des réglages des branches externes sur la version de la molaire d'ancrage dans le plan sagittal. A. réglage de la longueur. B. réglage de l'orientation. En rouge : la ligne d'action de la force passe au-dessus du centre de résistance ce qui entraîne une méso-version de la molaire. En vert : elle passe au-dessous induisant une disto-version. **Droite** : influence du type de traction sur la version dans le sens vestibulo-linguale. En rouge : une traction basse entraîne une version corono-linguale (contraction transversale de l'arcade). En vert : une traction haute engendre une version corono-vestibulaire (expansion).

##### (2) Dispositifs à ancrage dentaire

Les dispositifs de distalisation à ancrage intra-oral sont apparus dans les années 1970. Ceux-ci ont été créés dans le but de diminuer la coopération du patient. On distingue les dispositifs à appuis intra-arcades et ceux à appuis inter-arcades.

- Dispositifs à appuis intra-arcades :

Le Pendulum<sup>®</sup> : il a été décrit en 1992 par Hilgers (16). Il se compose d'une pastille de Nance (ancrage muqueux) et de bras d'ancrage sur les prémolaires. Un bras en TMA .032" inséré dans les fourreaux soudés en palatin des bagues des molaires maxillaires est activé pour exercer une force distalante.



Figure 11 : Pendulum

Cependant, l'ancrage muqueux est loin d'être absolu (17). Selon l'étude de Fuziy (18) réalisée en 2006, 63,5% de l'espace ouvert entre la première molaire et la deuxième prémolaire sont dus au recul molaire, tandis que les 36,5% restants sont dus à la perte d'ancrage prémolaire. Ainsi, en ne s'appuyant que sur le maxillaire, la mésialisation de l'arcade (perte d'ancrage antérieure) demandera par la suite, un recul important et donc un besoin d'ancrage postérieur une fois la classe I molaire obtenue. Le risque sera donc de perdre la classe I molaire obtenue précédemment. Beaucoup de dispositifs ont par la suite été inventés comme par exemple *Le Distal Jet*<sup>®</sup> (décrit en 1996), *l'Intraoral Bodily Molar Distalizer*<sup>®</sup> – IBMD (créée en 2000 par Keles), le *DNT* (Distaliseur NiTi), le *Keles Slider*<sup>®</sup> (Keles modifie son IBMD en 2001).

- Dispositifs à appuis inter-arcades :

Afin de limiter la mésialisation des dents d'appui maxillaires, les appuis inter-arcades sont utilisés. Ainsi, ce sera l'arcade mandibulaire qui sera sujette à une mésialisation, ce qui peut poser problème en cas de proalvéolie mandibulaire déjà importante. Ce sont par exemple :

- Les ressorts et arc en Nickel-titane super-élastiques (19) sont issus de la technique de Tweed-Merrifield. Dans cette technique, la compression d'une

boucle permet d'exercer une force de distalisation postérieure. L'ancrage est assuré par le port d'élastiques inter-maxillaires de classe II (TIM II).

Récemment, les systèmes utilisés sont le Distal Active Concept (DAC) et le système de Wilson.

On retrouve également :

- Le dispositif de Herbst : C'est le même système que les appareils orthopédiques mais soudé sur des structures maxillaires et mandibulaires.
- Le Forsus Fatigue Resistant Device : décrit en 2006 par Vogt, est un dispositif fixe à bielles de propulsion hybride fixé sur un appareil multi-attaches, au maxillaire sur le tube de FEO de la première molaire et à la mandibule sur l'arc entre la canine et la première prémolaire. Une étude de 2014 (20) sur 54 patients montre que la correction de la classe II se fait majoritairement par mésialisation de l'arcade mandibulaire. En effet, entre T2 (pose du forsus) et T3 (dépose du forsus), la molaire maxillaire a été distalisée de 0,7mm en moyenne tandis que la molaire mandibulaire s'est mésialée de 2mm.

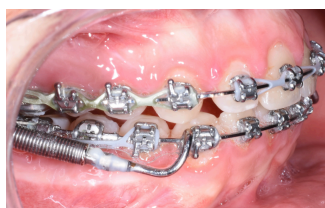


Figure 12 : Forsus (photo personnelle)

- Le Carriere Distaliseur® : Ce système est basé sur le principe de distalisation de la molaire maxillaire par disto-rotation.

### (3) Dispositifs à ancrage osseux

Afin de pallier au manque d'ancrage antérieur retrouvé avec les systèmes d'appuis intra-arcades et inter-arcades, il est possible d'utiliser des dispositifs à ancrage osseux. Les systèmes d'ancrage squelettique (SAS) (minivis, mini-plaques en titanium) permettraient un ancrage stable et fort. (21)

Il est possible d'utiliser les SAS en technique multi-attache (figure 9), ou bien de les associer à des dispositifs de distalisation comme ceux décrit précédemment. On retrouve par exemple, le *Bone-Anchored Pendulum Appliance* (BAPA) (figure 13), le *distal Screw*, ou le *Beneslider de Wilmes*.

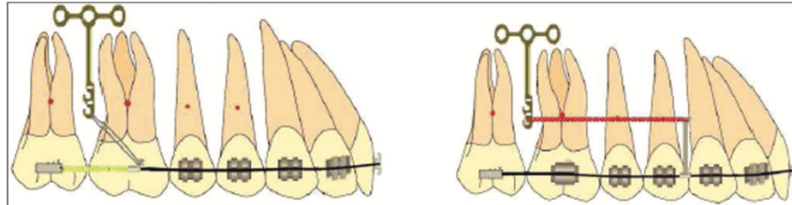


Figure 13 : Distalisation molaire unitaire (à gauche) et distalisation en masse du secteur postérieur (à droite) d'après Sugawara (21)

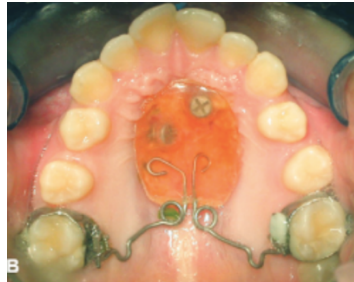


Figure 14 : Le BAPA (22)

## e) Mouvements retrouvés lors de la distalisation maxillaire

### (1) L'expansion

L'expansion de l'arcade maxillaire est souvent essentielle dans les cas classe II. Elle permet de gagner de l'espace pour le recul des prémolaires et des canines dans une relation de classe I, mais elle permet aussi aux molaires de reculer dans une section d'arcade plus large pendant le traitement.

### (2) Le recul molaire

- La disto-version molaire :

Comme décrit précédemment, le recul molaire se fait en partie par disto-version.

La disto-version molaire ne sera, en général, pas recherchée. Elle ne le sera qu'en présence d'une version mésiale initiale des molaires. Cela peut être le cas par exemple, en l'absence d'une prémolaire (version mésiale compensatrice des molaires).



Figure 15 : Redressement des axes radiculaires lors de la distalisation maxillaire si les dents sont méso-versées



En 1998, L'*American Board of Orthodontics*, lors du développement de leur grille d'évaluation des résultats occlusaux en fin de traitement, a retenu comme critères (23) : un parallélisme des racines dentaires entre elles et une perpendicularité au plan d'occlusion.

Cependant, Ricketts, et Andrews recommandent (24):

- Une orientation coronomésiale des premières et deuxièmes molaires (Figure 15)
- Une position légèrement au-dessus du plan d'occlusion des deuxièmes molaires maxillaires pour éviter les interférences en latéralité.

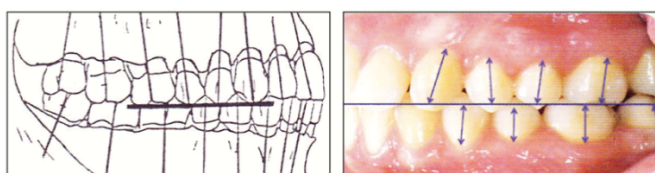


Figure 16 : Schéma (a) et photographie (b) représentant les orientations corono-mésiales des dents maxillaires et mandibulaires (24)

La figure 16 montre l'importance de l'inclinaison mésiale de la première molaire supérieure sur l'occlusion avec ses antagonistes :

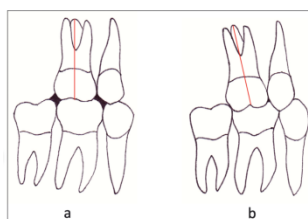


Figure 17 : Schéma (a) classe I molaire avec grand axe vertical de la première molaire supérieure droite. (b) Classe I molaire avec inclinaison adéquate de la première molaire maxillaire, permettant l'apparition d'un contact avec la deuxième molaire mandibulaire.

De plus, selon Orthlieb, (25), le parallélisme des axes dentaires ne devrait pas être un objectif de nos traitements. En effet, les dents s'inclinent naturellement suivant l'axe des pressions qu'elles subissent.

Ainsi, le nivellement de la courbe de Spee, et donc le parallélisme des axes dentaires génère un plan d'occlusion plat. Ce dernier, en dehors du fait qu'il n'est jamais optimal pour la cinématique occlusale, va générer lors du serrement en occlusion d'intercuspédie maximale (OIM), des charges non axiales au niveau des dents, générant une forte poussée mésiale. Il serait donc illusoire de penser que l'on peut espérer un système dentaire stable avec des axes dentaires parallèles conséquence du nivellement.

- La disto-rotation molaire :

Dans les cas de classe II, l'arcade mandibulaire est en arrière par rapport à l'arcade maxillaire, il se produit donc une adaptation transversale (contraction maxillaire) avec une rotation molaire adaptatrice (mésio-rotation) : conséquence de l'avancée de l'arcade maxillaire (avancée du point de contact).

Le diagnostic de cette mésio-rotation est important à établir pour permettre une planification plus précise du traitement (26).

Plusieurs auteurs ont décrit la rotation molaire idéale (figure 18) :

- Selon Henry (27) : l'angle formé entre le raphé médian et la ligne passant par les cuspidés vestibulaires de la première molaire maxillaire devrait être d'environ  $11,24^\circ$ .
- Selon Friel (28): la valeur de l'angle formé entre le raphé médian et la ligne passant par les cuspidés mésiales de la première molaire maxillaire devrait se situer entre  $57^\circ$  et  $65^\circ$ .
- Selon Ricketts (27): la ligne passant par la cuspide disto-vestibulaire et la cuspide mésio-palatine de la molaire projetée sur l'arcade opposée devrait être à environ 4mm en distal du sommet de la cuspide de la canine opposée.

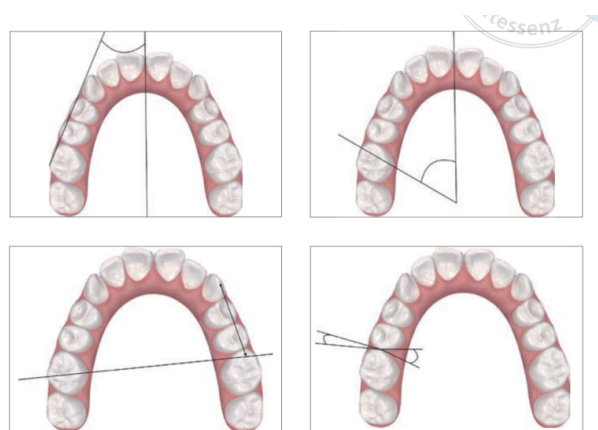


Figure 18 : (a) angle d'Henry, (b) Angle de Friel, (c) ligne de Ricketts, (d) la ligne du centre de l'axe des prémolaires.

Le diamètre oblique (de la surface mésio-vestibulaire à la surface disto-palatine) de la première molaire est plus large que le diamètre mésio-distal (environ 12,5mm contre 9mm). (28)

Il est donc souvent nécessaire, lors de la distalisation maxillaire, de déroter les molaires (rotation mésio-vestibulaire), car ce mouvement, par recul du point de

contact de la molaire, peut permettre un gain de place de plus de 2mm par hémio-arcade.

### *(3) Perte d'ancrage*

Comme décrit précédemment, la distalisation maxillaire nécessite un ancrage dans chacune des phases.

Les appareils intra-oraux utilisés comme le Pendulum® ou le distal Jet® utilisent comme support d'ancrage les prémolaires (deux ou quatre) et parfois, une pastille de Nance. Cependant, ce type d'ancrage ne peut pas résister totalement à la force réciproque mésiale de l'appareil de distalisation. (29). La diminution des forces utilisées lors de la distalisation ne permettrait pas de réduire cette perte d'ancrage. (30)

- Lors du recul molaire : la perte d'ancrage se traduit par un mouvement mésial des dents d'ancrage, notamment des prémolaires. De plus, un certain mouvement mésial des incisives peut être retrouvé (vestibulo-version), et ce, d'autant plus si l'appareil de distalisation était associé à un appareillage multibague vestibulaire. (31).
- Lors du recul prémolaire, en plus de la perte d'ancrage antérieure (version des incisives), on peut retrouver une perte d'ancrage molaire (mésialisation).
- Lors de la phase de rétraction antérieure, la contre-force peut engendrer une perte d'ancrage postérieure avec mésialisation des dents préalablement distalisées.

Cela peut se traduire par une augmentation du temps de traitement, voir même, un retour vers la situation initiale. C'est pourquoi, des moyens doivent être utilisés pour maintenir l'ancrage (élastiques inter-maxillaires de classe II, forces extra-orales, minivis).

### *(4) Effets dento-alvéolaires secondaires au port des élastiques de classe II*

Les effets dento-alvéolaires engendrés par le port d'élastiques inter-maxillaires de classe II sont : (32)

- Au maxillaire :
  - o Linguo-version des incisives
  - o Égression des incisives
- A la mandibule :

- Vestibulo-version des incisives
- Ingression des incisives
- Mésialisation des molaires
- Egression des molaires

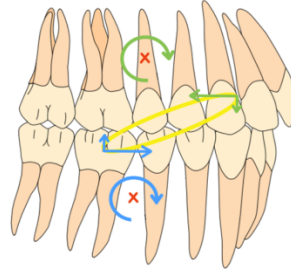


Figure 19 : effets dento-alvéolaires des TIM II. En vert : une égression antérieure et une distalisation maxillaire provoquant au niveau du centre de résistance de l'arcade maxillaire un moment de rotation horaire. En bleu : une égression postérieure mandibulaire et une mésialisation provoquant un moment de rotation mandibulaire antihoraire.

## 2) CAS PARTICULIER DE LA DISTALISATION MAXILLAIRE PAR ALIGNEURS : PRINCIPES BIOMÉCANIQUES

### a) Historique des aligneurs

(33) (34) La première utilisation des aligneurs date de 1946 par le docteur Harold Kesling. Ce dernier utilisait des gouttières thermoformées comme positionneur dentaire.

L'idée de l'utilisation de gouttières transparentes a été développée par Nahoum, Ponitz, McNamara, Sheridan et Truax, avant d'être combinées récemment avec les avancées des matériaux thermoplastiques transparents et de la technologie informatique (CAD-CAM, stéréolithographie et logiciels de simulation de mouvements dentaires).

Après avoir obtenu l'approbation du FDA (Food and Drug Administration), la compagnie Align Technology a mis son produit Invisalign® sur le marché en 1999.

De 2001 à 2003, seule la correction de faibles encombrements était possible. En 2003, l'utilisation des élastiques inter-maxillaires a été introduite pour les décalages de classe II.

En 2005, les premiers cas de distalisation maxillaire ont été publiés par le docteur Bergeyron Patrice.

En 2006, les minivis ont été introduites dans les plans de traitement d'orthodontie avec Invisalign® pour des mouvements plus complexes.

## b) Avantages et inconvénients des traitements par aligneurs

L'utilisation du système par gouttières thermo- formées présente de nombreux avantages dans les traitements d'orthodontie, notamment (35):

- **Esthétique** : Le principal avantage des aligneurs est la transparence de la gouttière thermoformée. Elle est indétectable « à distance sociale ».
- **Confort** du patient : Les aligneurs sont confortables et ne causent pas d'irritations au niveau des joues et des tissus environnants comme cela peut être le cas avec les fils métalliques et les brackets.
- **Élocution** : Les gouttières thermoformées ne couvrant pas le palais, elles n'affectent pas l'élocution : après la pose des aligneurs un « zozotement » peut être présent pendant 2 à 3 jours, puis disparaît rapidement.
- **Hygiène** : L'hygiène buccale et la santé gingivale sont bien meilleures pendant un traitement par gouttières thermoformées qu'avec des systèmes fixes. Puisqu'elles sont amovibles. On a aussi observé une diminution des problèmes carieux ou de décalcification qui peuvent survenir au cours des traitements d'orthodontie par appareillage fixe. De plus, cela permet de traiter des cas au parodonte réduit et d'éviter ainsi d'avoir une récurrence des problèmes parodontaux en cours de traitement. (36)
- **Absence de résorptions radiculaires** : Aucun cas de résorption radiculaire n'a été rapporté dans la littérature après des traitements par gouttières. Des études menées par l'université de Floride utilisant le système Invisalign® le confirment.
- **Réduction des phénomènes douloureux** (37): Des adolescents et des adultes ayant porté les appareillages fixes et ayant ensuite suivi un traitement par gouttières ont rapporté que ce dernier est plus confortable et entraîne moins de douleurs.

Le praticien peut en outre ralentir les mouvements programmés au niveau de chaque aligneur chez des patients présentant des douleurs, ce qui permet de les contrôler.

- **Facilité de traitement** : facilité en présence de restauration prothétique, contrôle du bruxisme, désocclusion facilitant les mouvements dentaires, déplacements en 3D, moins d'urgences, communication avec le patient et avec les correspondants.

Cependant, le traitement par aligneurs présente certaines limites :

- Difficulté d'obtenir certains mouvements : ingression postérieure de plus de 2mm, égression postérieure de plus de 1mm, torque radiculo-vestibulaire, rotation de

plus de 45°, expansion de plus de 4mm, correction des milieux de plus de 3mm, contrôle lors de la fermeture des espaces d'extraction. Des techniques annexes et des auxiliaires peuvent malgré cela remédier à ces problèmes (élastiques, chaînettes minivis, power arms, taquets).

- De plus, la rétention de l'aligneur peut être difficile à obtenir si la hauteur coronaire est faible.

Enfin, l'élasticité des aligneurs peut entraîner un « bowing effect ». Après recul molaire, l'espace en arrière des prémolaires va générer, du fait des propriétés élastiques des aligneurs, un moment horaire sur la partie postérieure de l'aligneur et un moment antihoraire sur la partie antérieure. (Figure 19)

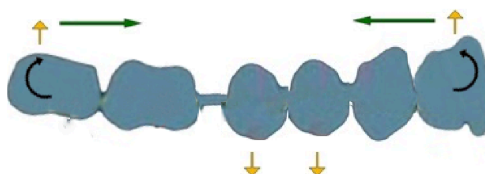


Figure 20 : "Bowling effect" lors du recul des prémolaires.

Au contraire, lors du recul antérieur, il se produit un moment horaire sur la partie antérieure de l'arcade. Cela serait responsable d'une inclinaison linguale et d'une égression incisive lors de la rétraction antérieure. La partie médiane de l'aligneur reçoit une force d'ingression. Cela provoque une intrusion des prémolaires et une mésio-version des molaires due au moment antihoraire généré sur le segment postérieur de l'aligneur. Cela serait responsable des interférences antérieures et d'une béance latérale. (38) (figure 20)

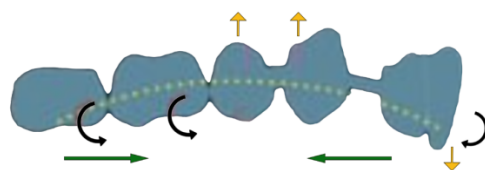


Figure 21 : "Bowling Effect" lors du recul antérieur

### c) Distalisation maxillaire par aligneurs :

#### (1) Indications :

(39) (40) (41) En présence d'une classe II occlusale chez l'adulte, les traitements par aligneurs offrent plusieurs possibilités thérapeutiques :

- La dérotation des molaires maxillaires
- La distalisation maxillaire séquentielle
- Les élastiques intermaxillaires (distalisation en masse)
- La réduction amélaire inter proximale
- Les extractions
- La chirurgie orthognathique.

La distalisation séquentielle est indiquée lorsque le décalage est d'origine dentaire, ou en présence d'une classe II squelettique modérée ( $ANB = 4^\circ$  ou  $5^\circ$ ). Elle ne serait indiquée que pour les décalages occlusaux de 2 à 4mm chez l'adolescent, et de 3 mm au maximum chez l'adulte.

Le schéma suivant résume les possibilités thérapeutiques des classes II dentaires par aligneurs.

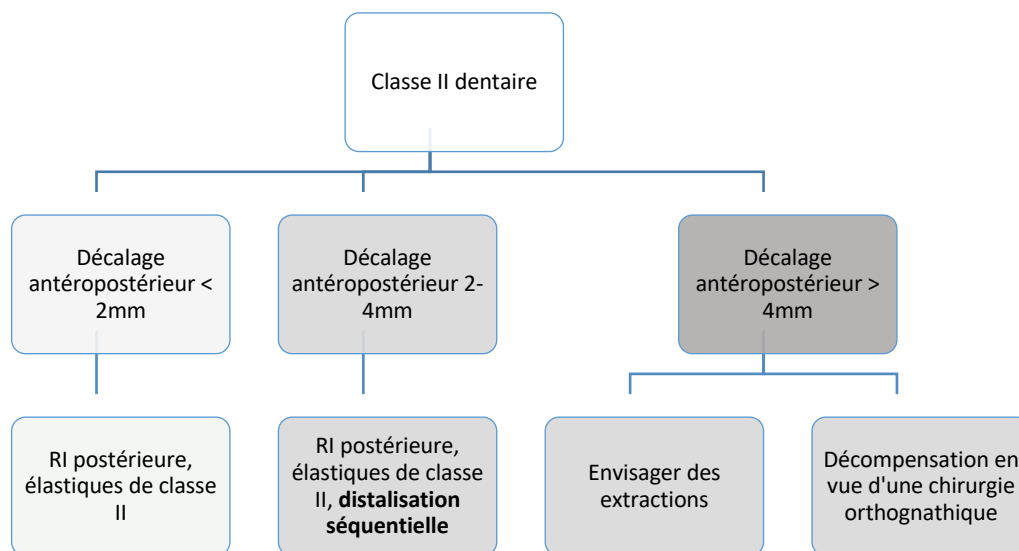


Figure 22 : possibilités thérapeutiques des classes II dentaires par aligneurs

## (2) Principes de la distalisation séquentielle

La distalisation séquentielle, communément appelée « modèle en V » se déroule comme suit :

- Début de distalisation des deuxièmes molaires uniquement.

Durant cette phase, l'arcade dentaire entière de la première molaire droite à la première molaire gauche agit comme segment d'ancrage pour pousser la deuxième molaire en distal.

- Quand les deuxièmes molaires ont effectué 50% de leur recul, début de la distalisation des premières molaires.

A ce stade, le segment d'ancrage est représenté par le segment d'arcade de la deuxième prémolaire à la deuxième prémolaire.

- Quand les deuxièmes molaires ont atteint leur position finale, le recul des prémolaires commencent. A ce stade, les deuxièmes molaires s'ajoutent à l'ancrage.
- Lorsque les premières molaires ont atteint leur position finale, le recul des canines débute.

Ce séquençage permet une installation d'ancrage très conservatrice.

Dans l'éditeur de staging du logiciel ClinCheck, le mouvement dentaire apparaît sous la forme d'un motif en V latéral (figure 22).

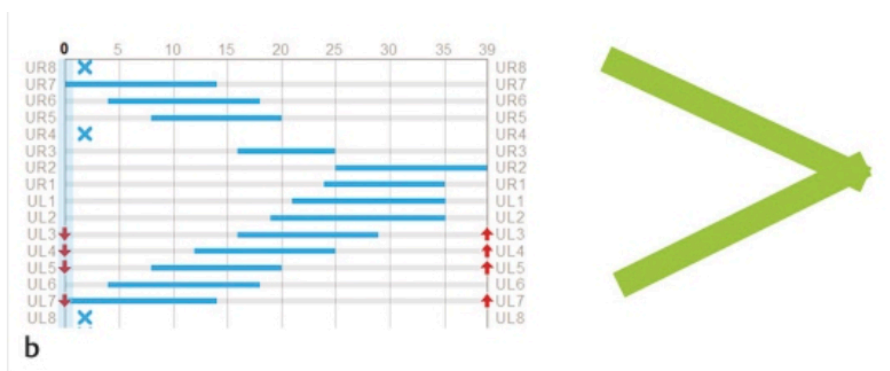


Figure 23 : "V pattern", scénario de distalisation maxillaire

Ce séquençage nécessite une coopération importante du patient. En effet, l'utilisation d'élastiques intermaxillaires de classe II est primordiale.

De plus, la distalisation séquentielle nécessite du temps. Pendant que les dents postérieures sont distalisées, l'encombrement antérieur ne sera corrigé que lors des derniers stades du traitement.

En effet, le protocole actuel met en scène l'alignement des dents antérieures lorsque les dents postérieures sont suffisamment distalisées afin de permettre l'alignement dans l'espace créé, et si nécessaire, pour préserver l'ancrage.

Cela peut souvent aller à l'encontre de la demande du patient. Pour remédier à cela, il est possible de demander un scénario esthétique. Ainsi, l'alignement antérieur débute dès les premières gouttières, en même temps que la distalisation postérieure. C'est le modèle en « V modifié ». Cela résout tout ou partie des problèmes esthétiques plus tôt dans le traitement mais peut ensuite compliquer le recul. (La place nécessaire à l'alignement antérieur pouvant se faire par vestibulo-version des incisives).



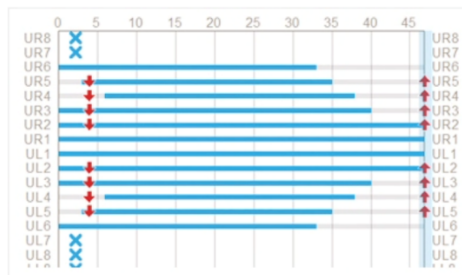


Figure 24 : scénario esthétique de la distalisation maxillaire, l'alignement antérieur débute dès les premières gouttières

Tant que l'alignement antérieur n'implique pas de rétraction (raccourcissement de la gouttière) avec la distalisation des dents postérieures, le segment d'ancrage capturé dans la gouttière reste le même.

En supposant une bonne adaptation de l'aligneur, toute perte d'ancrage en réaction à la force de distalisation postérieure sera exprimée uniquement sous la forme d'une mésialisation de l'arcade complète, avec moins de mouvement vers l'avant des dents antérieures et moins d'effet extrusif qui peut se produire dans la mécanique d'appareils fixes utilisant des arcs souvent sous dimensionnés.

### **Temps de port des aligneurs :**

Les changements d'aligneurs hebdomadaires ont souvent entraîné une expression moindre du mouvement programmé, considéré comme un « non-ajustement » des aligneurs. Align Technology a depuis introduit des attachements « optimisés » (personnalisés, actifs), des séquences d'activation plus conservatrices, et le matériau d'alignement SmartTrack. En octobre 2016, après avoir évalué les résultats cliniques des intervalles de changement hebdomadaires avec ces nouvelles fonctionnalités, Align a recommandé des changements hebdomadaires des aligneurs pour tous les traitements utilisant les protocoles par défaut. Les implications cliniques de cette annonce étaient importantes. La durée du traitement peut théoriquement être réduite de moitié avec peu d'effet détectable sur le résultat occlusal. Cependant, ce temps de port est parfois à moduler selon les cas (difficulté des mouvements, coopération ...).

### ***(3) Moyens de renfort d'ancrage :***

Comme décrit précédemment, la distalisation maxillaire par aligneurs entraîne une dérive mésiale, se traduisant par une version et une ingression des incisives maxillaires. Cela se traduit par un mauvais ajustement des aligneurs.

Les moyens d'ancrage pour pallier ces effets indésirables sont :

- Les élastiques de classe II
- Les taquets
- Les minivis

- **Les élastiques intermaxillaires de classe II :**

Les élastiques de classe II permettent un renfort d'ancrage indispensable lors de la distalisation maxillaire par aligneurs.

La force inter-aligneurs produite par les élastiques devient cruciale lorsque la masse du segment distalisé se rapproche de celle du segment antérieur, typiquement lorsque les prémolaires et le segment antérieur commencent à se distaliser et que les aligneurs commencent à se raccourcir.

La correction molaire initiale devient cliniquement évidente au début du traitement, même avec peu ou pas d'utilisation d'élastique, en raison de l'ancrage fourni par le segment prémolaire et antérieur plus large, ce qui peut endormir le clinicien dans un faux sentiment de sécurité. Si les élastiques ne sont pas utilisés ou sont utilisés insuffisamment au début de la rétraction antérieure et du raccourcissement de l'aligneur, une partie ou la totalité de la correction molaire sera perdue par basculement mésial du segment postérieur, plutôt que par la rétraction souhaitée des dents antérieures. Ainsi, l'augmentation de la durée de port de chaque aligneur semble primordiale aux vues du besoin de port des TIM II.

Les recommandations de ports sont les suivantes :

- Port la nuit lors du recul des deuxièmes molaires (unité d'ancrage importante, de la première molaire à la première molaire).
- Le port est ensuite augmenté à 3 heures de plus la journée dès le début du recul des premières molaires.
- Dans tous les cas, le port des élastiques doit démarrer au plus tard lorsque le début de la distalisation des deuxièmes prémolaires débute.

L'élastique est en général tendu de la canine maxillaire à la première molaire mandibulaire. La force développée par les élastiques devrait atteindre environ 100g.

Recommandations concernant les élastiques : Diamètre d'une application classique

- Classe II/III (de la canine à la première molaire) 1/4 po (8 mm) Médium, 4,5 oz (128 g) dans les cas sans extraction, ou 3/16 po (5 mm) Médium, 4,5 oz (128 g) dans les cas d'extractions de prémolaires.

- Classe II/III (de la canine à la deuxième molaire) 5/16 po (8 mm) Médium, 4,5 oz (128 g).

Le choix des diamètres est différent pour les arcades courtes ou les traitements avec anciennes extractions de prémolaires.

#### *Découpes optimisées :*

Pour un port plus simple des élastiques pendant le traitement, des découpes de précisions (crochets de précision et découpes de boutons) peuvent être demandées. Elles sont conçues pendant le processus de planification.

Elles peuvent être placés dès les premières gouttières. Cependant, il faut garder en tête que pour toute découpe de précision, la surface de contact entre l'aligneur et la dent est réduite, et donc le contrôle des mouvements dentaires peut être potentiellement réduit. Ainsi, dans les cas où la hauteur des couronnes cliniques sont courtes, ces crochets de précision et découpes de boutons ne doivent être placés que lorsque la traction élastique sera requise.

- Les crochets coupés avec précision

Depuis quelques années, il est possible d'ajouter des crochets optimisés prédécoupés dans l'aligneur.

Si les élastiques sont directement accrochés à la gouttière, ils exercent une force distalante sur l'arcade entière, et permettent donc de renforcer l'ancrage de l'arcade maxillaire.

Dans les classe II division 1, où les incisives maxillaires sont vestibuloversées, ces découpes sont indiquées car la force distale agit favorablement à la rétraction de ces dents et à la réduction du surplomb.

A la mandibule, ces découpes de crochets optimisées sont indiquées sur les premières molaires si l'on recherche une force mésialante sur l'ensemble de l'arcade mandibulaire. C'est le cas lorsque les incisives sont linguoversées et que l'on recherche donc à les vestibuloverser. On retrouve souvent cette linguoversion chez les patients qui présente une interposition labiale ou une succion digitale.

Les crochets taillés directement dans les gouttières sont préférés lorsque les considérations esthétiques sont primordiales ou lorsque les couronnes prothétiques ou les restaurations volumineuses rendent le collage difficile.



Figure 25 : Découpes optimisées pour le port d'élastiques. a) crochet optimisé b) découpe de bouton.

#### - Les coupes de boutons

Au maxillaire, si l'on ne souhaite pas exercer une force distalante sur l'ensemble de l'arcade, on peut choisir des coupes de boutons. C'est le cas dans les classe II.2 ou les incisives maxillaires sont palatoversées. En effet, leur vestibuloversion sera nécessaire à la correction de la supraclusion et à leur alignement. Elles doivent donc pouvoir bouger librement en vestibulaire. Les élastiques sont donc préférentiellement attachés sur des boutons collés sur les canines afin d'isoler la force élastique de l'aligneur.

Afin d'éloigner la force distalante des incisives, dans les cas de classe II.2, il est possible de placer la découpe du bouton sur les premières prémolaires maxillaires.

De plus, les coupes de boutons sont indiquées en présence de canines ectopiques qui doivent être égressées.

A la mandibule, les incisives sont parfois vestibuloversées dans un objectif de compensation alvéolaire. Dans ce cas, il peut être préférable de demander des coupes de bouton sur les molaires mandibulaires afin d'isoler la force de l'élastique de l'aligneur et de mieux contrôler l'inclinaison de l'incisive.

	Crochets optimisés	Découpes de boutons
<b>Maxillaire</b>		
Vestibulo version antérieure	X	
Linguo version antérieure		X
<b>Mandibule</b>		
Vestibulo version antérieure		X
Linguo version antérieure	X	

Figure 26 : indications des coupes optimisées en fonction de la version des incisives.

- **Les taquets** :

À ce jour, les aligneurs ont été constitués de trois générations ; la première génération s'appuyait uniquement sur les aligneurs pour obtenir un mouvement dentaire planifié, et aucune fonction auxiliaire n'était utilisée. Dans la deuxième génération, les fabricants ont commencé à s'aider des pièces jointes en insérant des boutons composites. Enfin, dans la troisième génération, le placement des taquets était programmé automatiquement par un logiciel pour les mouvements complexes tels que les mouvements radiculaires, l'extrusion et la dérotation.

Les taquets aident non seulement à l'expression des mouvements individuels, à la fois des dents sur lesquelles ils sont positionnés et des dents adjacentes, mais aident également à résister aux forces de délogement de l'aligneur telles que celles des élastiques intermaxillaires.

Aujourd'hui, il est clairement compris que les taquets sont une partie indissociable des aligneurs. De telles attaches sont d'abord collées passivement via un gabarit et elles ne sont complètement actives qu'après l'insertion du premier aligneur. Pendant le traitement et par l'utilisation constante de la gouttière par le patient, les taquets font progresser le mouvement de la dent et s'adaptent finalement à la déformation de la gouttière.

Les taquets ne sont pas spécifiquement requis pour les dents postérieures, car les caractéristiques anatomiques clés sont les inclinaisons des cuspidés et les surfaces inter proximales ou vestibulaires sur lesquelles l'aligneur pousse. Les taquets postérieurs aident cependant à maintenir les cuspidés dans l'aligneur, maximisant ainsi l'expression de l'aligneur, et ils peuvent également aider à maintenir les positions distales des dents une fois que la rétraction antérieure commence et qu'une force mésialisante réciproque doit être appliquée.

La rétention de l'aligneur antérieur est plus critique parce que les dents antérieures, qui ont peu de rétention naturelle, forment le segment d'ancrage pour les dents postérieures.

Différentes formes de taquets affectent différemment le mouvement des dents. La forme et la position du taquet sont importantes. C'est la surface active du taquet qui permet la transmission de la force. C'est donc, selon Cai et al, la direction de la surface active du taquet qui est importante dans l'efficacité de celui-ci. Elle doit être définie en fonction du rapport moment-force du mouvement dentaire prévu. (42)

Exemples de taquets utilisés lors de la distalisation maxillaire :

- Au niveau des molaires :

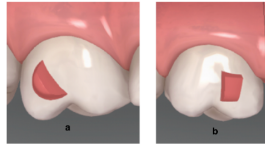


Figure 27 : taquet (a) optimisé de dérotation, (b) rectangulaire vertical

Pour la rotation des dents à géométrie sphérique, (canines, prémolaires), l'utilisation de taquets rectangulaires semble peu prédictible. (43) En effet, il a été montré que si une rotation de plus de 20° était présente, il fallait utiliser un taquet rectangulaire vertical. Cependant, si la hauteur de la couronne clinique est courte, il est souvent impossible de le positionner, d'autant plus que celui-ci peut compromettre la santé gingivale.

Les taquets de rotation optimisés ont ainsi été créés pour soutenir la dérotation molaire ainsi que l'expansion. Selon la hauteur clinique de la couronne des molaires, il est souvent impossible de placer un double taquet optimisé. Le ClinCheck® positionne automatiquement la surface active sur la face vestibulaire de la dent, au plus loin possible du grand axe. Biomécaniquement, il semblerait pertinent d'ajouter un taquet en palatin afin de créer un moment de dérotation. Cependant, des études ont montré que l'augmentation du nombre de taquets aurait tendance à gêner le mouvement plutôt qu'à le potentialiser. Cela serait dû à un amincissement de la gouttière lors du thermoformage avec plusieurs taquets, et à un engagement inadéquat des taquets après mise en place de l'aligneur. (44) (45)

- Au niveau des prémolaires :

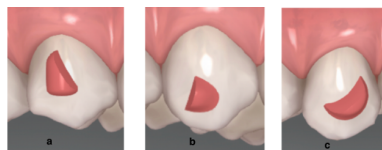


Figure 28 : taquets (a) optimisé de dérotation, (b) optimisé de contrôle radiculaire, (c) optimisé de rotation et de soutien d'expansion.

Il existe des taquets multi-plans optimisés qui permettent de prendre en charge les mouvements de rotation et d'égression/ingression.

A partir de 0,75 mm de mouvement prévu de translation à partir du centre de résistance, le ClinCheck positionne automatiquement des taquets de contrôle radiculaire optimisés.

- Au niveau des canines :

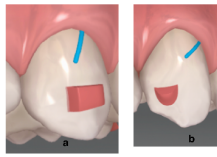


Figure 29 : taquet (a) rectangulaire horizontal, (b) optimisé de contrôle radiculaire

Sur les canines, comme sur les prémolaires, il est possible d'utiliser les taquets conventionnels (ellipsoïdaux, rectangulaires, ou rectangulaires biseautés). Mais des taquets optimisés sont souvent nécessaires pour contrôler certains mouvements : la rotation, l'égression, le tip radiculaire. Il n'est cependant pas possible de positionner des taquets d'ancrage

- **Les minivis :**

Des ancrages osseux temporaires peuvent être utilisés pour :

- Maintenir la position de la première molaire une fois son recul achevé et ainsi éviter toute mésialisation (perte d'ancrage) lors du recul prémolaire. (Figure 29)



Figure 30 : ancrage osseux temporaire utilisé pour maintenir la position de la première molaire maxillaire lors du recul prémolaire (bibliothèque Invisalign)

- Renforcer l'ancrage antérieur lors du recul postérieur tout en ajoutant une force de distalisation. (Figure 30). Cela permettrait d'éviter, dans certains cas, l'utilisation d'élastiques inter-maxillaires de classe II.



Figure 31 : ancrage osseux temporaire permettant l'attache d'un élastique entre la minivis et la canine (illustration personnelle)

La distalisation maxillaire par aligneur associée à des minivis étant une technique récente qui ne fait pas l'objet d'étude pour le moment, elle ne sera pas traitée dans notre revue de la littérature.

## **II. REVUE SYSTÉMATIQUE**

### **1) CONTEXTE DE L'ÉTUDE**

Le traitement de la classe II chez l'adulte peut constituer un enjeu thérapeutique quelle que soit la technique orthodontique utilisée. Si la distalisation maxillaire est indiquée, celle-ci devra être menée avec beaucoup de précautions. En effet, certains effets indésirables comme la perte d'ancrage antérieure et la disto-version molaires sont difficilement contrôlables.

De plus en plus, les adultes expriment le besoin d'un traitement peu visible. Les aligneurs permettent désormais d'allier esthétique et thérapeutique des décalages de classe II. Cependant, certains mouvements sont difficiles à obtenir avec les aligneurs, comme la translation.

Ainsi, l'analyse de la quantité de distalisation possible avec les aligneurs ainsi que celle des effets retrouvés lors de ce mouvement sont indispensables pour pouvoir programmer une thérapeutique de correction de classe II par distalisation maxillaire avec aligneurs, chez un adulte. Cela permettrait de cibler les cas « favorables » à ce traitement, et de prévoir les outils qui permettraient de faciliter sa mise en œuvre tout en réduisant le temps de traitement.

### **2) OBJECTIFS DE L'ÉTUDE**

L'objectif principal de cette revue est de quantifier le recul maxillaire que l'on peut obtenir grâce à la technique de distalisation séquentielle par aligneurs dans les classes II d'Angle chez l'adulte.

Les objectifs secondaires sont de déterminer les effets parasites à ce mouvement et l'impact de la quantité de distalisation sur leur nature et leur intensité. Enfin, le dernier objectif consiste à déterminer les méthodes pour limiter ces effets.

### **3) MATÉRIELS ET MÉTHODES**

#### **a) MÉTHODE DE RECHERCHE DES ÉTUDES**



### (1) Stratégie de recherche et équation

Une revue systématique a été effectuée à partir des bases de données bibliographiques suivantes : Pubmed, Scopus, Google Scholar et Cochrane Library, les études allant de décembre 2005 à février 2022. Cette recherche a été complétée par une recherche manuelle portant sur la bibliographie des articles initialement sélectionnés.

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](http://www.clinicaltrials.gov) à l'aide des mots clés « aligners », « Invisalign ».

L'enjeu a été de trouver une équation de recherche étudiant les mouvements dentaires mis en jeu dans le traitement de la classe II molaire par distalisation séquentielle maxillaire. Afin de regrouper le plus d'articles donnant les effets parasites à la distalisation maxillaires par aligneurs nous avons employé les termes Mesh : « distalization », « maxillary » et « aligners ».

Ainsi, l'équation de recherche utilisée dans chaque base de données a été la suivante : « (Maxillary distalization) AND (clear aligners OR invisalign) ».

Les recherches ont été réalisées par un seul opérateur dans chaque base de données.

### (2) Critères d'éligibilité

- **Critères d'inclusion**

- Type d'études

Nous avons cherché à identifier toutes les publications concernant la distalisation maxillaire par aligneurs. 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

Ont été incluses toutes les études portant sur des patients adultes (pas de croissance résiduelle) sans distinction de sexe, en bonne santé, bénéficiant d'un traitement orthodontique par aligneurs sans extraction, et nécessitant une distalisation de l'arcade maxillaire dans le cadre d'une classe II d'Angle.

- 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 distalisation séquentielle avec aligneurs, quel que soit le système utilisé.

Ces articles devaient avoir une méthodologie claire et suffisamment décrite, avec une analyse statistique appropriée.

- **Critères d'exclusion**

Les critères de non-inclusion ont été :

- Les études concernant des patients enfants ou adolescents.
- Les articles de plus de 15 ans.
- Les articles écrits en une autre langue que le français ou l'anglais.
- 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.
- Les publications n'apportant pas d'information sur les valeurs quantitatives de la distalisation maxillaire par aligneur ou sur les effets parasites qu'elle engendre.

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Articles récents et originaux (2005-2019)	Études sur patient avec malformation crânio-faciale et syndromes sévères
Études sur des patients adultes	Études sur des patients avec une croissance résiduelle
Études prospectives ou rétrospectives, revues systématiques, méta-analyses, in vitro	Études avec traitement orthodontico-chirurgical
Études sur les aligneurs orthodontiques quelle que soit la technique	Étude de cas
Études des mouvements relatifs au traitement de la classe II occlusale : distalisation séquentielle.	Débats et opinions d'auteurs
Études avec matériels et méthodes suffisamment décrits	Résumé d'articles
Études avec analyse statistique adéquate	Étude sur l'animale

Tableau 1 : critères d'inclusion et d'exclusion des études recherchées

### (3) Sélection des articles

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.

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.
- ⇒ 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 : liste obtenue après lecture complète de l'article.
- ⇒ Liste 4 : Liste obtenue par fusion de la liste 3 et des résultats de la recherche manuelle (c'est-à-dire issus de la bibliographie de l'ensemble des articles obtenus dans la liste 2 et les articles trouvés de façon fortuite).

#### *(4) Critères de jugement*

Les critères de jugement principaux sont : la quantité et le type de mouvements orthodontiques (en mm) réalisés par distalisation molaire maxillaire par aligneurs.

Les critères de jugement secondaires sont les effets parasites de la distalisation maxillaire en fonction des quantités de ce recul.

#### *(5) Extraction des données et synthèse*

Afin d'exploiter au mieux les articles, une grille de lecture type a été réalisée pour extraire les données de chaque article et l'ensemble des informations utiles à notre étude a été résumé sous forme de tableaux.

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

Tableau 2 : évaluation de la qualité des études incluses selon les grades de l'HAS

## b) RESULTATS

Après élimination des articles ne correspondant pas aux critères d'inclusion, la recherche a identifié 11 articles comme finalement pertinents. La figure 31 correspond à l'organigramme relatif à la réalisation de la revue de la littérature.

### (1) Description des études

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

- Cinq essais in vitro.
- Quatre études rétrospectives.
- Deux études prospectives.

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

Le détail des articles se retrouve sous la forme d'un tableau récapitulatif complet. (Tableau 3)

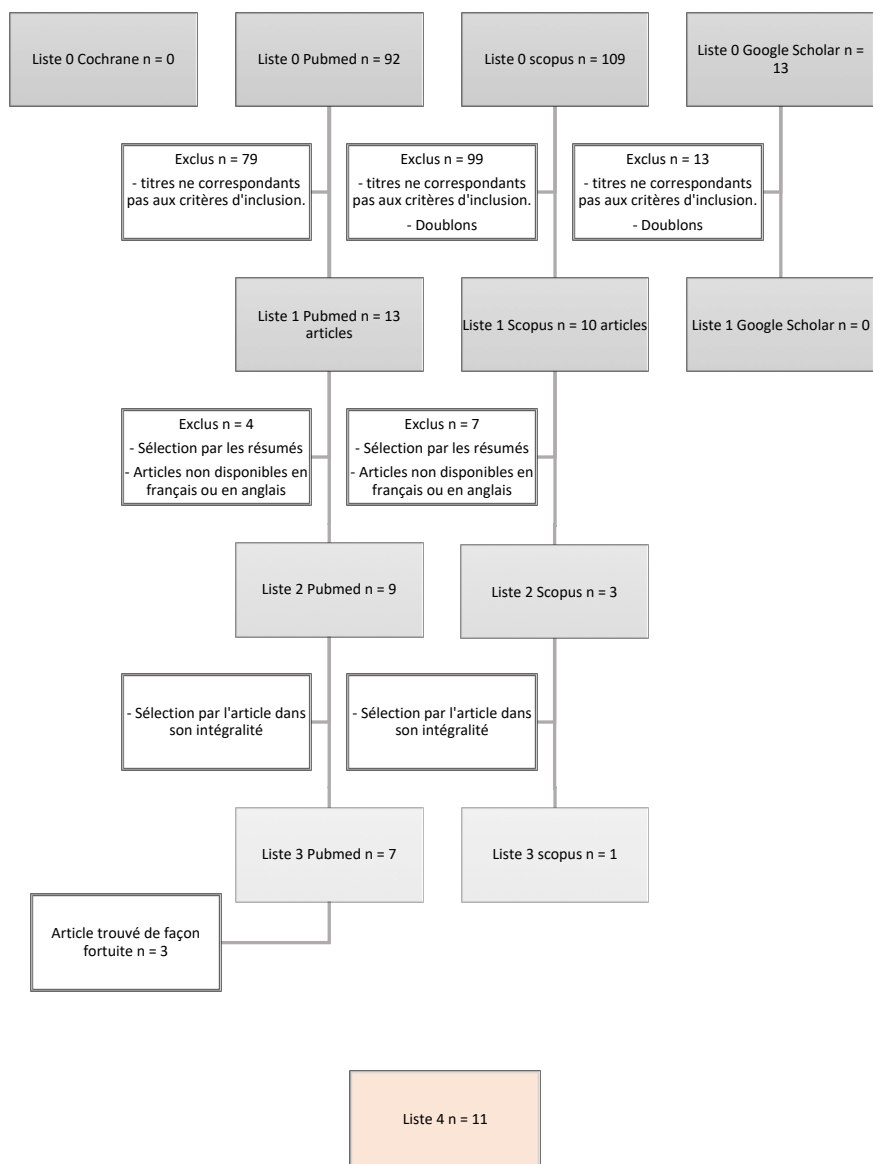


Figure 32 : organigramme relatif à la réalisation de la revue systématique

ETUDES	TYPE	PARTICIPANTS	INTERVENTION	RESULTATS	CONCLUSION
(1) <b>SAIF 2022 (46)</b>	Essai clinique randomisé prospectif	38 patients	Superpositions de 2 modèles numériques : un modèle avant traitement et un modèle après recul molaire. 142 molaires maxillaires (71 premières molaires et 71 secondes molaires) ont été mesurées pour le mouvement distal, et 228 dents antérieures maxillaires ont été évaluées pour la perte d'ancrage antérieur.	Le mouvement distal prédit de la première molaire maxillaire (P <0,0001) et de la deuxième molaire maxillaire (P<0,0001) diffèrent significativement des valeurs réelles. Il y avait une corrélation statistiquement significative entre la quantité de mouvement molaire distal et la quantité de perte d'ancrage (r = 0,3900, P < 0,008) pour l'incisive centrale et (r =0,3595, P < 0,013) pour l'incisive latérale.	<b>Invisalign peut être utilisé avec succès chez les patients adultes nécessitant une distalisation molaire maxillaire lorsqu'un mouvement de distalisation moyen de 2,6 mm a été prescrit. Les cliniciens doivent être conscients de l'effet contraire si les molaires maxillaires sont prévues pour se déplacer distalement, en particulier si le patient s'est présenté initialement avec un surplomb important, de sorte que la nécessité de prescrire une surcorrection ou l'utilisation d'auxiliaires peut être abordée plus tôt.</b>
(2) <b>CHI 2021 (47)</b>	Étude in vitro	CBCT d'une femme de 22 ans convertit en modèles 3D	Modèle 3D simulant l'os, l'arcade dentaire maxillaire (de deuxième molaire à deuxième molaire) + le ligament + l'aligneur + les taquets. Comparaison de 4 modèles selon différents types de taquets sur la molaire. Simulation du recul de la deuxième molaire de 0,25mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Modèle sans taquet</b> : disto-version molaire + mésialisation de l'apex, centre de rotation au niveau de la furcation</li> <li>- <b>Modèle avec taquet horizontal</b> : même chose mais déplacement plus important et centre de rotation plus proche de l'apex</li> <li>- <b>Modèle avec taquet vertical</b> : plus de mouvement disto-vestibulaire de la couronne. Centre rotation au niveau des 2/3 de la racine palatine</li> <li>- <b>Modèle avec double taquets optimisés</b> : centre de rotation proche de l'apex (1/3 apical de la racine). Déplacement initial le plus faible</li> </ul>	<p><b>Le taquet vertical reçoit plus de force latérale et permet une quantité de recul plus importante ainsi qu'une vestibulo-version plus importante. Le taquet vertical serait recommandé dans les cas où les molaires sont palato-versées et méso-versées</b></p> <p><b>L'absence de taquet et le taquet horizontal entraîne une disto-version non contrôlée, le taquet horizontal étant plus efficace que l'absence de taquet dans le recul.</b></p>
(3) <b>AL-NADAWI 2021 (48)</b>	Essai clinique randomisé prospectif	75 patients	Traitement par aligneurs Invisalign. 3 groupes : changement tous les 7 jours / 10 jours / 14 jours Superposition des modèles réels obtenus après traitement avec les modèles virtuels après traitement.	Port de 14 jours par apport à 7 jours : meilleurs contrôles au niveau <b>des dents postérieures maxillaires</b> pour l'intrusion (0,3mm vs 0,4mm), disto-version (2,8° vs 3,9°) et torque vestibulaire (2,8° vs 4,4°) mais aucune différence pour la translation	<b>Pour des mouvements tels que la distalisation, un protocole de port de 14 jours est recommandé → il semblerait que les effets parasites soient mieux contrôlés (disto-version, torque corono-vestibulaire, ingression)</b>
(4) <b>AYIDAGA 2021 (49)</b>	Étude in vitro	3 modèles informatiques	3 modèles simulant la première molaire maxillaire, l'os, le ligament, la gouttière et +/- le taquet : modèle 1 sans taquet, modèle 2 avec taquet vertical, modèle 3 avec taquet optimisé → analyse des déplacements de la dent à différents points + contrainte de Von Mises + contrainte maximale principale	Sans taquet, l'apex de la dent s'est déplacé en direction opposée. Pour le taquet optimisé : plus de mouvement de <b>translation</b> (0,13mm au niveau coronaire, 0,1 au niveau de la furcation et 0,08 mm au niveau de l'apex vs 0,12 mm/0,09/0,05 gp 2 et 0,12/0,76/0,01 gp 1)	<b>Sans taquet, le mouvement de distalisation s'est traduit par une disto-version non contrôlée de la dent. Avec un taquet vertical rectangulaire on a un meilleur contrôle de la disto-version. Les meilleurs résultats sont obtenus pour le taquet optimisé : contrôle de la disto-version avec un mouvement distal de l'apex plus important, et distribution plus uniforme des contraintes.</b>
(5) <b>ROSSINI 2020 (50)</b>	Étude in vitro	3 modèles	3 modèles stimulants les dents maxillaires avec leur ligament, os alvéolaire, +/- taquets rectangulaires verticaux sur les dents postérieures : un modèle sans taquet, un modèle avec taquet de la 13 à la 16 et un modèle avec taquets de la 13 à la 17. Le mouvement est la distalisation droite de la seconde molaire de 0,2mm Analyse des contraintes sur l'aligneur + contrainte sur le ligament + déplacement dentaire + déformation de l'aligneur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Déplacement distal</b> de la seconde molaire plus important pour le groupe ATT 3-6 (0,036mm) &gt; ATT 3-7(0,021 mm) &gt; NO ATT (0,02 mm)</li> <li>- <b>Ancrage antérieur</b> : mouvement vestibulaire plus important pour la 12 et surtout pour le groupe ATT 3-6 (0,033 mm) &gt; ATT 3-6 (0,029) &gt; NO ATT (0, 025 mm).</li> <li>- <b>Déformation de l'aligneur</b> : déformation au niveau méso vestibulaire ++ groupe NO ATT (0,23mm) et moins pour le groupe ATT 3-7 (0,19mm)</li> <li>- <b>Pression maximale entre aligneur et dent</b> : ++ pour le groupe ATT 3-7 mais au niveau du taquet.</li> <li>- <b>Contrainte du ligament</b> : ++ au niveau de l'apex de la racine disto-vestibulaire ++ pour le groupe ATT 3-6 &gt; ATT 3-7 &gt; NO ATT</li> </ul>	<p><b>Les taquets sont recommandés pour contrôler la distalisation de la deuxième molaire maxillaire : plus de recul et plus de contraintes ligamentaires.</b></p> <p><b>Plus de recul pour le groupe ATT 3-6 (ancrage préservé et section d'aligneur plus élastique au niveau de la 7)</b></p> <p><b>Moins de déformation de l'aligneur quand présence de taquet sur la 7</b></p> <p><b>Considérant la localisation de la surface active de l'aligneur et le risque de perte d'adaptation de celui-ci au niveau de la dernière molaire, la présence de taquets de la canine à la deuxième molaire est indiquée.</b></p>
(6) <b>CARUSO 2019 (51)</b>	Étude rétrospective	10 patients	Traitement par aligneurs Invisalign (distalisation séquentielle) chez des patients en classe II molaire. Mesures céphalométriques sur les téléradiographies de profil de début et de fin de traitement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucune différence statistiquement significative pour le critère de jugement principal SN-GoGn entre T0 et T1, variation moyenne de 0,1 ± 2,0 degrés</li> <li>- Aucune différence statistiquement significative pour les mesures linéaires de dimension verticale (<b>S-Go; N-Me</b>)</li> <li>- Des différences statistiquement significatives pour la position linéaire des molaires supérieures (6-PP, 7-PP), le paramètre MR et l'inclinaison de l'incisive supérieure (1 ^ PP) avec au moins p &lt;0,01.</li> <li>- <b>Aucune rotation significative du plan occlusal maxillaire et fonctionnel.</b> Aucun changement significatif dans la position sagittale de la mandibule et du maxillaire, contrairement à ce que rapportent Ravera et al. (52) qui a montré une réduction significative de l'angle ANB.</li> <li>- Distoersion molaires maxillaires en moyenne 1,3°.</li> </ul>	<p><b>Les résultats actuels suggèrent que des aligneurs permettent :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Un bon contrôle de la divergence mandibulaire lors de la distalisation molaire.</b></li> <li>- <b>Contrôle du couple incisif sans perte d'ancrage (contrôle torque 13,2°)</b></li> <li>- <b>Peu de distoersion molaire</b></li> </ul> <p><b>Par conséquent, les aligneurs orthodontiques pourraient représenter une alternative efficace pour la distalisation des molaires supérieures, en particulier chez les sujets hyperdivergents ou à occlusion ouverte, au moins pour les mouvements des molaires distales jusqu'à 2-3 mm.</b></p>

<p>(7) <b>COMBA 2017 (53)</b></p>	<p>Étude in vitro 4 modèles</p>	<p>4 modèles simulant l'os alvéolaire, la canine maxillaire (13), le ligament, un taquet, et l'aligneur. - Modèle 1 sans taquet - Modèle 2 : taquet rectangulaire vertical - Modèle 3 : taquet optimisé - Modèle 4 : taquet optimisé + TIM II</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 et 2 : disto-version non contrôlée</li> <li>- 3 et 4 : translation distale sans version incontrôlée</li> <li>- 4 : moins d'ingression</li> <li>- 3 et 4 : pression distale et tension mésiale (1 et 2 pressions disto-cervicale et méso-apicale)</li> <li>- 1 et 2 : Déplacement vestibulaire vs 2 et 3 : déplacement palatin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 et 2 : disto-version non contrôlée</li> <li>- 3 et 4 : translation distale sans version incontrôlée</li> <li>- 4 : moins d'ingression</li> <li>- 3 et 4 : pression distale et tension mésiale (1 et 2 pressions disto-cervicale et méso-apicale)</li> <li>- 1 et 2 : Déplacement vestibulaire vs 2 et 3 : déplacement palatin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Une attache rectangulaire verticale a provoqué un déplacement vestibulaire de la dent, avec des dommages parodontaux théoriques.</li> <li>• Les configurations sans taquet et avec taquet rectangulaire produisaient des mouvements d'intrusion et de version.</li> <li>• Des taquets optimisés ont produit une translation, bien qu'une certaine intrusion se soit également produite.</li> <li>• L'application d'élastiques 4oz Classe II sur le taquet optimisée a réduit significativement cette intrusion indésirable et a ainsi amélioré l'efficacité de l'appareil.</li> </ul>
<p>(8) <b>GARINO 2016 (54)</b></p>	<p>Étude cas-témoin randomisée 30 patients</p>	<p>Traitement par aligneurs chez des patient en classe II ½ cuspide, normodivergents - C1 : taquets de 3 à 7 - C2 : taquets de 4 à 6</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de différence significative dans la quantité de recul de la deuxième molaire</li> <li>- Plus de recul de la première molaire et des incisives dans le groupe ATT 3-7 (différences moyennes de 1,57 mm et 1,95 mm).</li> <li>- Intrusion ++ pour C1 (p &lt;0,05) par rapport au plan palatin, pour M1 et M2 (différences moyennes de 1,64 mm et 1,41 mm).</li> <li>- C1 : pas de distoversion significative / C2 distoversion M1 2,49°</li> <li>- Meilleur contrôle rétraction incisive dans le groupe C1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de différence significative dans la quantité de recul de la deuxième molaire</li> <li>- Plus de recul de la première molaire et des incisives dans le groupe ATT 3-7 (différences moyennes de 1,57 mm et 1,95 mm).</li> <li>- Intrusion ++ pour C1 (p &lt;0,05) par rapport au plan palatin, pour M1 et M2 (différences moyennes de 1,64 mm et 1,41 mm).</li> <li>- C1 : pas de distoversion significative / C2 distoversion M1 2,49°</li> <li>- Meilleur contrôle rétraction incisive dans le groupe C1</li> </ul>	<p>Les taquets sur 5 dents permettent plus de recul, moins de version, moins d'égression molaire et de perte d'ancrage antérieure.</p>
<p>(9) <b>RAVERA 2016 (52)</b></p>	<p>Étude de cohort rétrospective 20 patients</p>	<p>Traitement par aligneurs invisalign chez des patients en classe II molaire bout à bout. Analyse céphalométrique avant et après traitement.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La durée moyenne du traitement était de 24,3 ± 4,2 mois.</li> <li>- Après traitement, la première molaire s'est déplacée distalement de 2,25 mm sans version significatif (P = 0,27) et mouvements verticaux (P = 0,43).</li> <li>- La distalisation de la seconde molaire était de 2,52 mm sans version significatif (P = 0,056) et mouvements verticaux (P = 0,25).</li> <li>- Aucun mouvement significatif n'a été détecté sur l'arcade inférieure.</li> <li>- Les angles SN ^ GoGn et SPP ^ GoGn n'ont montré aucune différence significative entre les céphalogrammes pré- et post-traitement (P = 0,22 et P = 0,85, respectivement).</li> <li>- Palatoversion des incisives supérieures de 2,87°, rétraction de 2,23mm, avec un bon contrôle par rapport au plan palatin</li> <li>- Pas de distoversion significative</li> <li>- Angle SNA : aucune différence significative avant et après traitement (P= 0,45)</li> <li>- Angle GoGn/SN et GoGn/SPP aucune différence avant et après traitement (P = 0,22 et P = 0,85 respectivement)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La durée moyenne du traitement était de 24,3 ± 4,2 mois.</li> <li>- Après traitement, la première molaire s'est déplacée distalement de 2,25 mm sans version significatif (P = 0,27) et mouvements verticaux (P = 0,43).</li> <li>- La distalisation de la seconde molaire était de 2,52 mm sans version significatif (P = 0,056) et mouvements verticaux (P = 0,25).</li> <li>- Aucun mouvement significatif n'a été détecté sur l'arcade inférieure.</li> <li>- Les angles SN ^ GoGn et SPP ^ GoGn n'ont montré aucune différence significative entre les céphalogrammes pré- et post-traitement (P = 0,22 et P = 0,85, respectivement).</li> <li>- Palatoversion des incisives supérieures de 2,87°, rétraction de 2,23mm, avec un bon contrôle par rapport au plan palatin</li> <li>- Pas de distoversion significative</li> <li>- Angle SNA : aucune différence significative avant et après traitement (P= 0,45)</li> <li>- Angle GoGn/SN et GoGn/SPP aucune différence avant et après traitement (P = 0,22 et P = 0,85 respectivement)</li> </ul>	<p>La thérapie d'alignement en association avec des taquets et des élastiques de classe II peut distaliser les premières molaires maxillaires de 2,25 mm sans version ni mouvements verticaux significatifs de la couronne. Aucun changement de la hauteur du visage n'a été révélé.</p>
<p>(10) <b>GOMEZ 2015 (55)</b></p>	<p>Étude in vitro Modèle virtuel</p>	<p>Modèle simulant la canine maxillaire droite, l'os alvéolaire, le ligament, l'aligneur et +/- des taquets optimisés. Force de distalisation de 0,15mm avec et sans taquet.</p>	<p>Distribution des contraintes de tension et de compression :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sans taquet : une zone de compression dans le 1/3 cervical de la surface radiculaire distale + une zone de tension dans le 1/3 apical de la surface mésiale → version distale incontrôlée, avec un axe de rotation entre les tiers radiculaires moyen et cervical.</li> <li>- Avec taquet : zones de compression uniformes dans la surface radiculaire distale + zones de tension uniformes dans la surface radiculaire mésiale + zones de compression dans les surfaces actives des taquets → mouvement corporel distal (translation).</li> </ul>	<p>Distribution des contraintes de tension et de compression :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sans taquet : une zone de compression dans le 1/3 cervical de la surface radiculaire distale + une zone de tension dans le 1/3 apical de la surface mésiale → version distale incontrôlée, avec un axe de rotation entre les tiers radiculaires moyen et cervical.</li> <li>- Avec taquet : zones de compression uniformes dans la surface radiculaire distale + zones de tension uniformes dans la surface radiculaire mésiale + zones de compression dans les surfaces actives des taquets → mouvement corporel distal (translation).</li> </ul>	<p>L'absence d'attaches composites dans la simulation du même déplacement a produit un système de force compatible avec une inclinaison dentaire incontrôlée.</p>
<p>(11) <b>SIMON 2014 (56)</b></p>	<p>Essai clinique rétrospectif 30 patients (10 pour la distalisation) de 13 à 72 ans</p>	<p>Groupe 1 : mesure du torque incisif, Groupe 2 mesure de la dérotation prémolaire, Groupe 3 : 10 patients en classe II traités par Invisalign avec une distalisation des molaires maxillaires de plus de 1,5mm. Analyse de 20 mouvements (2 par patient). Mesure des forces générées par les aligneurs et de la translation pour deux sous-groupes : 1 sans taquet et 1 avec taquets.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forces : forces importantes au début du port de chaque aligneur, puis décroît jusqu'à 0N/N.mm. Des forces initiales différentes sont observées entre des aligneurs consécutifs.</li> <li>- En présence de taquets, les forces et le moment générés correspondant à la direction du mouvement sont plus importants (-1,1N vs -0,8N). La force verticale (ingression) était supérieure en présence d'un taquet (-0,7N vs -0,5N) mais les résultats sont non significatifs.</li> <li>- En moyenne 2,6 mm de distalisation avec 0,2mm / aligneur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forces : forces importantes au début du port de chaque aligneur, puis décroît jusqu'à 0N/N.mm. Des forces initiales différentes sont observées entre des aligneurs consécutifs.</li> <li>- En présence de taquets, les forces et le moment générés correspondant à la direction du mouvement sont plus importants (-1,1N vs -0,8N). La force verticale (ingression) était supérieure en présence d'un taquet (-0,7N vs -0,5N) mais les résultats sont non significatifs.</li> <li>- En moyenne 2,6 mm de distalisation avec 0,2mm / aligneur.</li> </ul>	<p>Ces résultats suggèrent que la distalisation de plus de 1,5mm est un mouvement prédictible. La force décroît tout au long du port d'une gouttière de façon exponentielle, en présence de taquet ou non. Le système de force diffère entre chaque aligneur bien qu'un mouvement constant ait été demandé lors de la planification du ClinCheck. La force est en moyenne de 1 N pour la distalisation.</p> <p>La distalisation molaire &gt; 1,5mm est le mouvement le plus efficace (87%) quand il est soutenu par des taquets.</p>

Tableau 3 : tableau récapitulatif des articles sélectionnés



Dans notre analyse, les articles ont été numérotés en fonction de leur date de publication de 1 à 11, le numéro 1 concerne l'article le plus récent et le numéro 11 l'article le plus ancien.

## (2) Présentation des articles

Sur les 11 articles sélectionnés, tous ont été publiés après 2014. La figure 33 représente la répartition des articles par année :

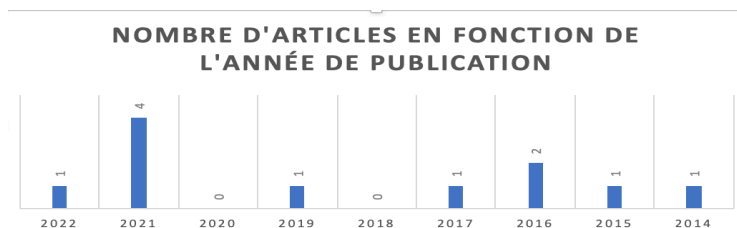


Figure 33: Répartition des articles par année de publication

Les articles ont été publiés dans 7 journaux différents. Selon les données recueillies depuis 2019 :

- 3 journaux ont un impact factor (IF) supérieur à 2. (*Applied Sciences, Progress in Orthodontics, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*)
- 2 ont un IF entre 1,5 et 2. (*BMC oral Health, Journal of Healthcare Engineering*).
- 1 a un IF entre 1 et 1,5 (*Angle Orthodontist*).
- 1 a un IF inférieur à 1 (*Journal of clinical Orthodontics*).

Pour un article (47), le journal de publication n'était pas donné car l'étude est sortie lors d'une conférence en 2021.

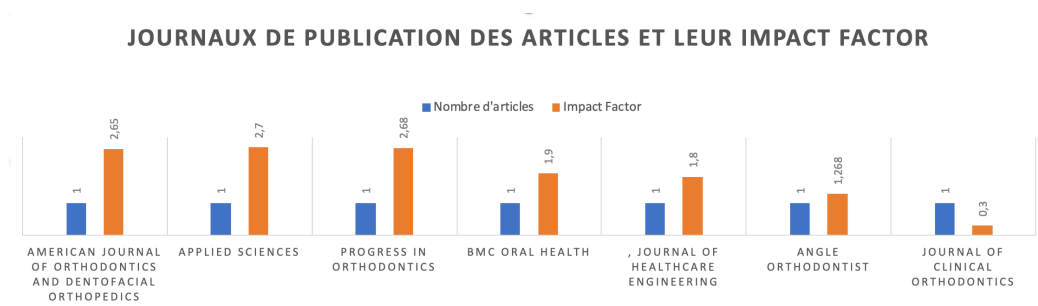


Tableau 4 : Journaux de publication des articles sélection ainsi que leur Impact factor

Le grade des études est également associé pour chacun des articles en fonction des critères de gradation précédemment définis, tirés de l'HAS :

<u>Études</u>	<u>Grade (puissance de l'étude)</u>
<b>Saif (2022) (46)</b>	A
<b>Chi (2021) (47)</b>	C
<b>Al-Nadawi (2021) (48)</b>	A
<b>Ayidaga (2021) (49)</b>	C
<b>Rossini (2020) (50)</b>	C
<b>Caruso (2019) (51)</b>	C
<b>Comba (2017) (53)</b>	C
<b>Garino (2016) (54)</b>	C
<b>Ravera (2016) (52)</b>	C
<b>Gomez (2015) (55)</b>	C
<b>Simon (2014) (56)</b>	C

Tableau 5 : ensemble des études sélectionnées et leur grade associé selon les critères de la HAS

### (3) Système étudié

Dans toutes les études, le système **Invisalign** est étudié.

### (4) Population étudiée dans les différents articles

Le nombre d'individus inclus dans les articles était variable, allant de 10 à 75 patients. En dehors des études in vitro, tous les articles incluait des hommes et des femmes. Dans toutes les études, le nombre de femmes était supérieur au nombre d'hommes.

Tous les participants de chaque étude étaient des adultes (âge supposant une absence de croissance résiduelle) sauf dans l'étude de Simon et al. (56) où les patients avaient entre 13 et 72 ans. La moyenne d'âge de tous les articles se situait entre 22 et 35 ans.

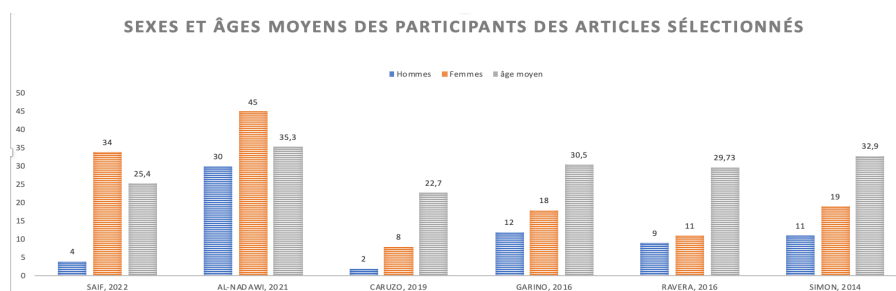


Figure 34 : sexes et âges moyens des participants des articles sélectionnés (études in vivo)

## (5) Analyse des critères de jugement

Pour plus de clarté dans les résultats nous avons répertorié 3 éléments étudiés dans les différents articles :

- La quantité de distalisation et le temps de traitement.
- Les effets parasites que peut entraîner ce recul.
- Les critères à respecter pour diminuer ces effets parasites.

- **La quantité de distalisation et le temps de traitement :**

### Mesures réalisées pour la distalisation :

Dans certains articles, la quantification de la distalisation est évaluée grâce à l'utilisation de téléradiographies de profil (TRP), avant et après distalisation. Lorsque cela est précisé, la quantité de mouvement distal est principalement mesurée par rapport à des lignes de référence sur un tracé céphalométrique. Dans les études de Garino et al. (54) et Ravera et al. (52) la superposition maxillaire régionale se fait le long du plan palatin. Des axes x (plan palatin) et y (perpendiculaire au plan palatin passant par le point Pt (fente ptérygo-maxillaire)) sont utilisés pour réaliser les mesures.

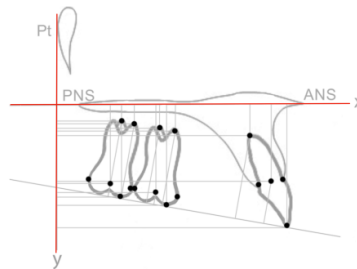


Figure 35 : en rouge, les plans x et y utilisés pour les différentes mesures (52)

L'axe des molaires utilisé pour les mesures angulaires est l'axe passant par la cuspidé mésio-vestibulaire et l'apex de la racine mésio-vestibulaire des deuxièmes et premières molaires maxillaires.

Pour les molaires, les mesures linéaires réalisées à partir des points suivants :

- Centre de la couronne des molaires
- Cuspidé mésio-vestibulaire

- Apex de la racine mésio-vestibulaire
- Apex de la racine palatine

Pour les incisives, les mesures linéaires se font avec les points suivants :

- Milieu de la projection latérale de la concavité formée par la conjonction entre la couronne et la racine de l'incisive.
- Bord libre de l'incisive
- Apex de la racine

Dans l'étude de Saif et al. (46), la quantité de distalisation molaire est mesurée grâce à la superposition de modèles numériques avant traitement et après recul molaire. Cette superposition est réalisée sur la zone des papilles palatines puisqu'elle a été démontrée stable. (57) (58)

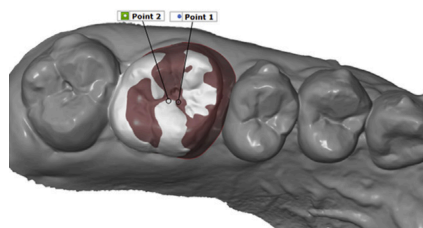


Figure 36 : mesure du recul molaire sur des modèles superposés sur les papilles palatines d'après Saif et al. (46)

#### ▪ **Recul coronaire**

Dans 10 articles sur les 11 sélectionnés, les auteurs abordent une quantité de recul. Certains donnent une valeur de distalisation pour un aligneur, d'autres donnent une valeur de distalisation molaire ou canine obtenue après traitement.

La quantité de distalisation par aligneur décrite dans les études est de 0,15 à 0,25 mm.

Quantité de recul pour un aligneur décrite par les auteurs :

- Saif et al. (46) : 0,25mm à 0,33mm
- Chi et al. (47): recul de la deuxième molaire de 0,25 mm
- Ayidaga et al. (49) : recul molaire de 0,15 mm
- Rossini et al. (50) : recul de la deuxième molaire de 0,15 mm
- Comba et al. (53) : recul canine de 0,2 mm
- Gomez et al. (55) : recul canine de 0,15 mm
- Garino et al. (54) : recul molaire de 0,25 mm
- Simon et al. (56) : recul molaire de 0,2mm

Les critères de distalisation molaire évalués sont la quantité de la distalisation coronaire de la première molaire maxillaire (le plus souvent) et en complément, de la deuxième molaire maxillaire (parfois).

La quantité de distalisation maxillaire finale obtenue était de 1,5 mm à 3,9mm. (Recul coronaire mesuré au niveau des cuspides mésio-vestibulaires ou du centre de la couronne).

Quantité de recul décrite par les auteurs :

- Saif et al. (46) : distalisation en moyenne de 1,81 mm de la première molaire et de 1,85mm de la deuxième molaire.
- Caruso et al. (51) : distalisation jusqu'à 2-3mm
- Garino et al. (54) : recul de 2,3 mm dans le groupe 1 et 1,54 mm dans le groupe 2.
- Simon et al. (56) : recul de plus de 1,5mm, en moyenne 2,6mm (1,5 mm à 3,9mm).
- L'article de Ravera et al. (52) décrit :
  - Un recul coronaire de la deuxième molaire de :
    - 2,52 mm de la cuspide mésio-vestibulaire
    - 2,12 mm du centre de la couronne
  - Un recul coronaire de la première molaire de :
    - 2,25mm de la cuspide mésio-vestibulaire (de 4,21 mm à 0,29mm)
    - 2,03 du centre de la couronne
  - Un recul incisif de 2,23 mm.
- **Recul apical :**
  - Ravera et al. (52) trouvent un recul apical (apex de la racine palatine) de la première molaire maxillaire en moyenne de 1,84mm et de la deuxième molaire en moyenne de 1,5mm.
  - Garino et al. (54) trouvent un recul apical (apex de la racine palatine) de la première molaire maxillaire en moyenne de 1,71mm et de la deuxième molaire en moyenne de 1,47mm. Ces valeurs correspondent au groupe 1 (avec taquets de la canine à la deuxième molaire).

- **Disto-version :**

La version corono-distale de la molaire maxillaire est exprimée en degrés par rapport à un plan de référence, le plus souvent le plan palatin.

L'article de Ravera et al. (52) ne rapporte aucune disto-version significative, ni de la première ni de la deuxième molaire. ( $2,64^\circ$  en moyenne pour la deuxième molaire et  $1,64^\circ$  en moyenne pour la première molaire). Les écarts-types ( $5,13^\circ$  pour la deuxième molaire et  $4,54^\circ$  pour la première molaire) étaient révélateurs d'une grande variabilité. Cela pourrait être dû à des variations morphologiques individuelles telles que celles décrites précédemment (sinus, racines, largeur de l'alvéole ...).

L'article de Caruso et al. (51) ne démontre aucune disto-version significative de la première molaire ( $1,3^\circ$ ).

Garino et al. (54) trouvent une disto-version de la première molaire de  $2,04^\circ$  pour un recul coronaire de 1,84mm, une disto-version de la deuxième molaire de  $2,34^\circ$  pour un recul coronaire de 2,3mm. Ces valeurs sont celles du groupe avec taquets de la canine à la deuxième molaire. Quand le taquet sur la deuxième molaire est absent, la version de la première molaire va jusqu'à  $2,49^\circ$  pour un recul de 1,52 mm.

▪ ***Disto-rotation :***

Dans l'article de Ravera et al. (52), l'un des critères d'inclusion était : absence de mésio-rotation de la molaire maxillaire selon Ricketts (59). Dans l'article de Caruso et al. (51), l'un des critères d'inclusion est : absence de mésio-rotation des molaires maxillaires, mais aucun critère de jugement n'est donné. Dans l'article de Garino et al. (54), ce facteur n'est pas un critère d'inclusion. Aucune valeur de dérotation molaire n'est clairement retrouvée dans aucune étude.

Temps de traitement :

Dans l'étude de Caruso et al. (51), le temps de traitement total moyen était de 1,9 +/- 0,5 ans. (22,8 mois +/- 6). Le nombre d'aligneurs nécessaires n'est pas décrit.

Les études de Garino et al. (54) et Ravera et al. (52) démontrent un temps de traitement total en moyenne de 24,3 mois avec un nombre total d'aligneurs en moyenne de 42,6 au maxillaire (dont 9,1 pour le deuxième jeu d'aligneurs).

Dans l'étude de Saif et al (46), le recul molaire a nécessité en moyenne 20 aligneurs, changés tous les 14 jours. Le temps de distalisation molaire était donc d'en moyenne 6,7 mois.

#### Prédictibilité :

Selon Simon et al. (56) la distalisation de plus de 1,5mm est un mouvement prédictible. La prédictibilité de ce mouvement est de 87% lorsqu'il est soutenu par des taquets.

Selon Ravera et al. (52), en association avec des taquets et des élastiques de classe II, la distalisation des premières molaires maxillaires peut atteindre 2,25 mm sans version mésio-distale ni mouvements verticaux significatifs de la couronne. Il faut cependant noter que les écarts types sont importants.

Selon Saif et al. (46), l'efficacité du mouvement distal des molaires maxillaires produit par Invisalign® s'élève à 73,8% lorsqu'une distalisation moyenne de 2,6mm a été prescrite. La prédictibilité de la distalisation de la première molaire est plus importante (75,5%) que celle de la deuxième molaire (72,2%). Dans cette étude, la fréquence des taquets était de 56,3%.

- **Les effets parasites consécutifs à la distalisation molaire :**

Lors de la distalisation séquentielle par aligneurs, plusieurs forces peuvent engendrer des effets parasites :

La force de distalisation sur les molaires maxillaires peut entraîner des effets parasites sur celles-ci. Ces effets peuvent être :

- Une disto-version molaire (si elle n'est pas souhaitée, c'est-à-dire si une mésio-version molaire n'est pas présente initialement).
- Une augmentation du torque corono-vestibulaire.
- Une égression / ingression molaire
  - Caruso et al. (51) trouvent une différence significative dans la position des molaires par rapport au plan palatin se traduisant par une ingression en moyenne de 2mm pour les premières molaires et de 3mm pour les deuxièmes molaires.
  - Simon et al (56) trouvent une force d'ingression lors de la distalisation, plus importante en présence de taquet (résultats non significatifs).

- Dans l'étude de Gomez et al (55), ils trouvent, lors de la distalisation, une tendance à « l'évasement » des flancs vestibulaires et palatins du segment de l'aligneur. Cela pourrait suggérer un effet intrusif sur la dent et/ou une tendance expansive de l'aligneur au cours de sa fonction.

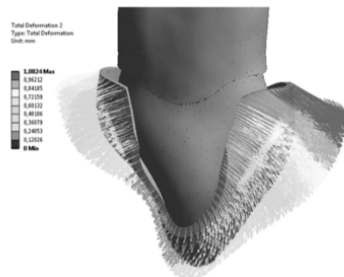


Figure 37 : "évasement" bucco-lingual du segment de l'aligneur pendant le recul selon Gomez et al (55)

La contre force mésialante peut entraîner :

- Une perte d'ancrage des dents supports d'ancrage (prémolaires, canines, incisives) :
  - Dans l'article de Chi et al. (47) dans les 4 modèles (sans taquet, 3 formes de taquets différentes), on note une mésialisation coronaire de toutes les dents lors du recul de la deuxième molaire. Cette mésialisation se traduit par une mésio-version puisqu'aucune mésialisation radiculaire n'est retrouvée. La plus grande perte d'ancrage retrouvée est celle du groupe C (taquet vertical), possiblement car c'est dans ce groupe que l'on retrouve une plus grande quantité de recul de la deuxième molaire. Plus la dent était proche de la deuxième molaire, plus elle subissait une mésialisation coronaire et une distalisation radiculaire.

	11		12		13		14		15		16		17	
	Crown	Root	Crown	Root	Crown	Root	Crown	Root	Crown	Root	Crown	Root	Crown	Root
Group A	+1.04	-0.27	+1.67	-0.33	+1.93	-0.54	+2.31	-0.68	+2.56	-0.82	+4.59	-1.90	-26.7	+10.2
Group B	+1.47	-0.67	+1.76	-0.95	+2.47	-1.23	+2.71	-1.36	+3.15	-1.64	+5.19	-2.14	-28.4	+13.7
Group C	+1.96	-1.44	+2.14	-1.41	+3.61	-2.49	+3.97	-2.63	+4.13	-2.81	+6.31	-3.75	-33.3	+17.1
Group D	+1.25	-0.71	+1.72	-0.43	+2.11	-0.69	+2.38	-0.81	+2.85	-1.34	+4.76	-2.01	-24.6	+6.20

Tableau 6 : tableau récapitulatif des mouvements coronaires et apicaux observés lors du recul molaire. Chi et al (46)

- Dans l'étude de Saif et al (46), la perte d'ancrage antérieure a été mesurée directement après la phase de recul molaire (qui n'a pas été soutenue par des élastiques de classe II). Les résultats montrent une mésialisation des dents antérieures chez presque tous les patients. Les dents les plus touchées par la perte



d'ancrage sont les incisives centrales (39,9%) suivies des incisives latérales (37,4%) puis des canines (22,7%). Ils trouvent une corrélation statistiquement significative entre la quantité de distalisation molaire et la quantité de perte d'ancrage ( $P < 0.008$ ).

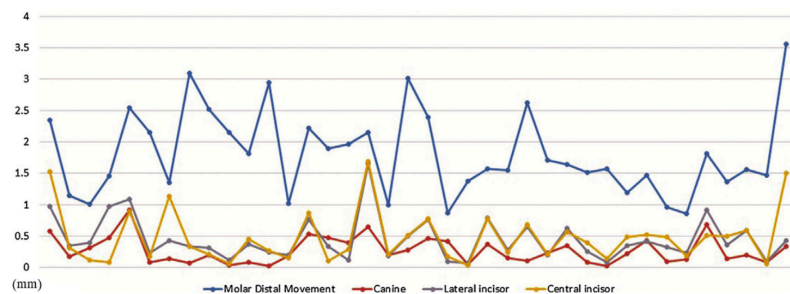


Figure 38 : corrélation entre la quantité de recul molaire obtenue et la quantité de perte d'ancrage obtenue d'après Saif et al. (46)

- Une vestibulo-version des incisives maxillaires :

- Rossini et al. (50) ont trouvé une perte d'ancrage antérieure plus importante pour les incisives latérales se traduisant par une vestibulo-version. Cette dernière était diminuée en présence de taquets. Cela s'expliquerait par le fait que lors de l'insertion de l'aligneur, il se produit une déformation méso-vestibulaire. Bien que limitée dans le temps, elle pourrait avoir un effet sur cette perte d'ancrage antérieure.

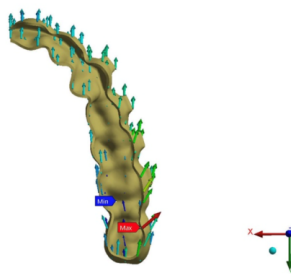


Figure 39 : déformation de l'aligneur lors de l'insertion (selon Rossini et al) (50)

- Caruso et al. (51) démontrent une diminution de l'inclinaison vestibulo-linguale des incisives maxillaires en fin de traitement en moyenne de  $13,2^\circ$ .
- Dans l'étude de Ravera et al. (52) l'inclinaison de l'incisive maxillaire par rapport au plan palatin était bonne en fin de traitement avec en moyenne une palato-version de  $2,87^\circ$ . La valeur la plus faible était de  $0,69^\circ$ , la plus haute était de  $5,06^\circ$ .
- Dans l'étude de Garino et al. (54) (classe II.1), la rétraction incisive était précédée d'une ingression. Des power ridges étaient placés pour le contrôle du torque.

- Une ingression des incisives maxillaires

- Ravera et al. (52) ne trouvent pas d'ingression significative de l'incisive maxillaire (en moyenne 1,15°) avec une ingression maximale de 4,59mm et une égression maximale de 2,29mm.

Les élastiques inter-maxillaires de classe II pourraient entraîner :

- o Une vestibulo-version des incisives mandibulaires
- o Une mésio-version et une égression des molaires mandibulaires

Ces effets ne sont étudiés dans aucun des articles de notre étude.

Cette thérapeutique pourrait engendrer au niveau squelettique :

- o Une bascule horaire du plan d'occlusion
  - Aucune valeur significative de rotation du plan d'occlusion n'est retrouvée.
- o Une augmentation de la dimension verticale
  - Caruso et al. (51) ne trouvent pas de différence significative de l'angle GoGn/SN ni pour les mesures linéaires de la dimension verticale (S-GO ; N-Me).
  - Ravera et al. (52) ne trouvent (52) aucune modification significative du sens vertical (GoGn/SN).

Article	Ingression (-) Egression (+) molaire maxillaire	Ingression (-) égression (+) incisive maxillaire	Rotation du plan d'occlusion (horaire (+), anti- horaire (-))	Mesures linéaires de la dimension verticale : S-Go et N-Me	Sens vertical global GoGn/Sn
<b>Caruso 2019</b>	- 3mm pour la 7 2 mm pour la 6		+ NS	0,1 ° NS	0,1 +/- 2,0° NS
<b>Garino 2016</b>	- 1,49 mm gp 1 pour la 7 / 1,32 gp 2 0,85 mm pour la 6	- 0,91 mm gp / 0,73mm gp 2			
<b>Ravera 2016</b>	- 0,49 mm pour la 7 0,62 mm pour la 6	- 0,36 mm	+ 0,1° NS		-0,45 ° NS
<b>Simon 2014</b>	- 0,7 N / 0,5 N				

Tableau 7 : modifications retrouvées dans le sens vertical

- **Moyens permettant de limiter les effets parasites**

- La prescription (ClinCheck) : taquets

Nombre de taquets :

Rossini et al. (52) ont trouvé une quantité de recul de la deuxième molaire plus importante dans le groupe avec taquets de la première molaire à la canine (0,036mm) par rapport à celui sans taquet (0,025mm) et celui avec taquets de la deuxième molaire à la canine (0,029mm). Cela pourrait s'expliquer par le fait que l'absence de taquet sur la deuxième molaire provoque une plus grande élasticité de cette portion de l'aligneur permettant une plus grande quantité de recul. Cependant, la zone de pression maximale se trouve sur la face vestibulaire du taquet lorsque celui est présent sur la molaire, tandis qu'en son absence, la surface active se trouve au niveau de la surface gingivale de l'aligneur. Or, cette zone est la zone la plus élastique, et donc, la plus susceptible de perte d'ajustement par rapport à la dent.

Dans l'étude de Saif et al. (46) ils ne trouvent pas de différence significative de la prédictibilité du recul molaire dans le groupe avec et sans taquet, que ce soit pour la première molaire ( $P=0,052$ ) ou pour la deuxième molaire ( $P=0,941$ ).

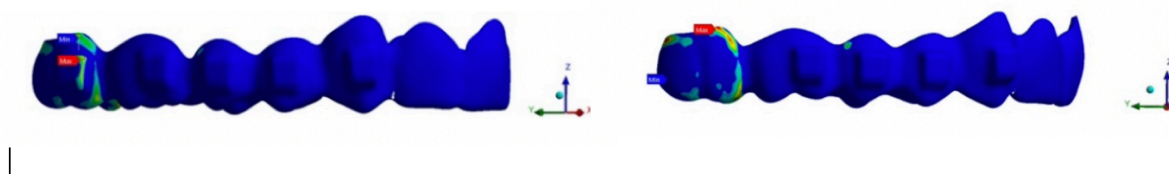


Figure 40 : En rouge la zone de pression maximale exercée par l'aligneur. A droite, dans la configuration sans taquet sur la deuxième molaire, cette zone est au niveau de la surface gingivale, A gauche, la zone de contact de pression maximale se trouve sur la face vestibulaire du taquet. D'après Rossini et al (50).

Le contrôle de la version molaire est difficile du fait de la surface dent/aligneur limitée dans la direction de l'application de la force. Selon Garino et al. (54), une combinaison de 5 taquets (de la deuxième molaire à la canine) serait plus efficace pour le contrôle du mouvement radicaire de la première molaire. En effet, Il y aurait moins de distorsion de la première molaire qu'en présence de 4 taquets seulement (de la première molaire à la canine).

De plus, Ravera et al. (52) ont montré que le mouvement distal de la première molaire sans taquet vertical sur la deuxième molaire entraîne plus de disto-version de la première molaire. Il note également qu'en l'absence de taquet sur la deuxième molaire, une perte d'ancrage de celle-ci lors du recul de la première molaire entraîne une diminution de la

quantité de recul de la deuxième molaire en fin de traitement. La présence de 3 taquets seulement (canine-deuxième prémolaires) est encore moins recommandée car l'insuffisance d'ancrage postérieur engendre une version incontrôlée des incisives lors de leur rétraction.

Ainsi, plus le nombre de taquets est grand, meilleur est le contrôle des dents postérieures lors du recul molaire et meilleur serait l'ancrage.

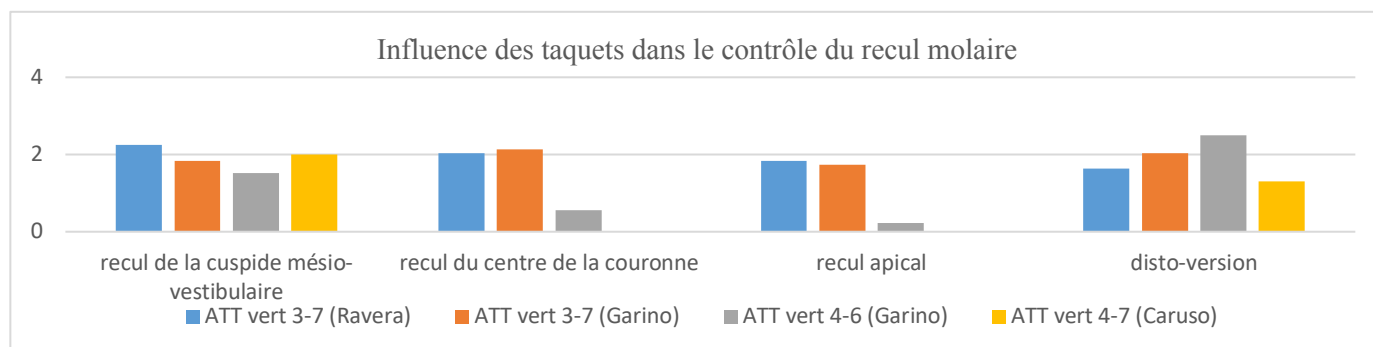


Figure 41 : influence des taquets dans le contrôle du recul de la première molaire maxillaire

Selon Gomez et al. (55), lors de la distalisation sans taquet, un mouvement horaire ainsi qu'une version distale de la canine se produit. La présence d'un taquet permet d'engendrer un moment opposé et donc une translation. Comba et al. (53) confirment ces propos en démontrant qu'un taquet permet d'éviter la version par la création d'un moment opposé qui se traduit par un redressement radiculaire. Ce moment dépend d'un système de forces généré par la surface active des taquets : un couple de taquets sur la canine (un en disto-cervical et un en mésio-occlusal) permet une compression au niveau de la face mésial du taquet distal et au niveau de la face distale du taquet mésial.

Rossini et al. (50) démontrent que la présence de taquets de la deuxième molaire à la canine permet une diminution de la déformation de l'aligneur dans la direction mésio-vestibulaire lors de l'insertion.

### Type de taquets :

Selon Ayidaga et al. (49) le taquet optimisé est plus efficace dans le contrôle de la version que le taquet vertical et que le modèle sans taquet. Avec le taquet optimisé, le stress du mouvement est distribué uniformément le long de la dent. Le mouvement obtenu est plus proche du mouvement de translation distale.

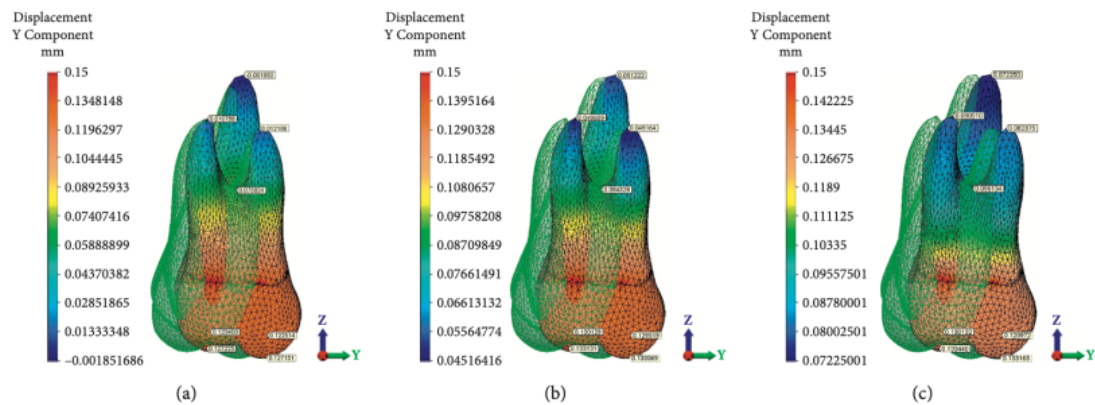


Figure 42 : modèles de déplacement de la racine et de la couronne de la première molaire maxillaire pour les 3 groupes : (a) sans taquet (b) avec taquet rectangulaire vertical (c) avec taquet optimisé.

Chi et al. (47) trouvent une plus grande quantité de recul coronaire de la deuxième molaire en présence d'un taquet vertical. Cette quantité de recul est dans l'ordre décroissant : Groupe C (taquet vertical) > groupe B (taquet horizontal) > groupe A (absence de taquet) > groupe D (2 taquets semi-elliptiques). Cependant, le contrôle radiculaire est plus important dans le groupe D, suivi du groupe B, et il est le plus faible dans le groupe C.

- Sans taquet (Groupe A) : on note une tendance à la disto-version avec le centre de rotation se trouvant au niveau du 1/3 inférieur des racines, entraînant une mésialisation de l'apex.
- Avec un taquet horizontal (Groupe B) : le centre de rotation est plus apical, ce qui signifie moins de mésialisation apicale.
- Avec un taquet vertical (Groupe C) : le mouvement de distalisation est plus important en vestibulaire qu'en palatin. Le centre de rotation se trouve au 2/3 coronaire de la racine palatine.
- Avec un double taquet optimisé (Groupe D) : le centre de rotation se trouve au niveau du 1/3 apical de la racine palatine.

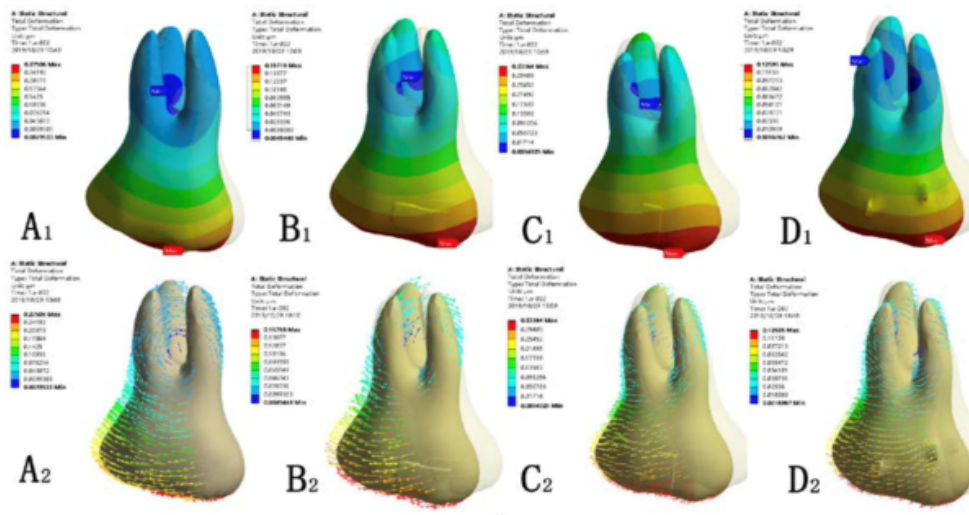


Figure 43: modèle de déplacement de la seconde molaire. A : sans taquet, B : avec taquet horizontal rectangulaire, C : avec taquet rectangulaire vertical, D : avec deux taquets combinés. Selon Chi et al. (47). En bleu, le centre de rotation.

### - Les recommandations : temps de port des gouttières, élastiques

#### Temps de port des gouttières :

Seul un article compare la prédictibilité des mouvements obtenus avec différents temps de port des aligneurs. L'article de Al-Nadawi et al. (48) démontre qu'aucune valeur n'est significativement différente concernant des mesures linéaires dans les 3 groupes (port des gouttières 7 jours, 10 jours, 14 jours). Cependant, des valeurs angulaires prédites et réellement obtenues étaient significativement différentes comme la disto-version des molaires maxillaires (3,9° dans le groupe 1 contre 2,8° dans le groupe 3), et le torque corono-vestibulaire des molaires maxillaires (4,4° dans le groupe 1, 4,2° dans le groupe 2 contre 2,8° dans le groupe 3). Au niveau antérieur, aucune différence significative n'est retrouvée tant pour les valeurs linéaires que angulaires.

Il semble que l'on ait une faible différence entre les groupes 2 (port 10 jours) et 3 (port 14 jours), excepté pour la gestion du torque corono-vestibulaire des molaires maxillaires.

Movement	Posterior				Anterior			
	Mean			ANOVA	Mean			ANOVA
	7 Day	10 Day	14 Day		7 Day	10 Day	14 Day	
<b>Maxilla</b>								
Distal	0.2	0.2	0.2	NS	0.2	0.2	0.2	NS
Mesial	0.3	0.2	0.2	NS	0.3	0.3	0.2	NS
Lingual	0.4	0.4	0.4	NS	0.2	0.2	0.2	NS
Buccal	0.3	0.3	0.2	NS	0.3	0.3	0.3	NS
Intrusion	0.4	0.4	0.3	P < .05	0.3	0.3	0.4	NS
Extrusion	0.3	0.3	0.2	NS	0.4	0.4	0.4	NS
Distal tip	3.9 <sup>a</sup>	2.9 <sup>b</sup>	2.8 <sup>b</sup>	P < .05	2.9 <sup>b</sup>	2.6 <sup>b</sup>	2.6 <sup>b</sup>	NS
Mesial tip	3.5 <sup>a</sup>	3.0 <sup>b</sup>	2.9 <sup>b</sup>	NS	3.5 <sup>b</sup>	3.4 <sup>b</sup>	3.4 <sup>b</sup>	NS
Lingual torque	2.6 <sup>a</sup>	2.6 <sup>b</sup>	2.4 <sup>b</sup>	NS	3.2 <sup>b</sup>	3.2 <sup>b</sup>	3.1 <sup>b</sup>	NS
Buccal torque	4.4 <sup>a</sup>	4.2 <sup>b</sup>	2.8 <sup>b</sup>	P < .05	3.1 <sup>b</sup>	2.9 <sup>b</sup>	2.8 <sup>b</sup>	NS
Distal rotation	2.3 <sup>a</sup>	2.2 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	NS	2.9 <sup>b</sup>	2.9 <sup>b</sup>	2.9 <sup>b</sup>	NS
Mesial rotation	2.4 <sup>a</sup>	2.5 <sup>b</sup>	1.9	NS	3.5 <sup>b</sup>	3.4 <sup>b</sup>	3.3 <sup>b</sup>	NS
<b>B. Mandible</b>								
Distal	0.2	0.2	0.2	NS	0.2	0.1	0.1	NS
Mesial	0.3	0.3	0.3	NS	0.3	0.3	0.2	NS
Lingual	0.2	0.3	0.3	NS	0.2	0.2	0.2	NS
Buccal	0.4	0.4	0.3	NS	0.3	0.3	0.3	NS
Intrusion	0.4	0.4	0.3	P < .05	0.3	0.2	0.2	NS
Extrusion	0.3	0.3	0.2	P < .05	0.5	0.5	0.5	NS
Distal tip	2.1 <sup>b</sup>	2.2 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	NS	2.9 <sup>b</sup>	3.0 <sup>b</sup>	2.3 <sup>b</sup>	NS
Mesial tip	3.7 <sup>a</sup>	3.7 <sup>b</sup>	3.3 <sup>b</sup>	NS	4.1 <sup>b</sup>	3.2 <sup>b</sup>	3.3 <sup>b</sup>	NS
Lingual torque	2.6 <sup>a</sup>	2.8 <sup>b</sup>	2.1 <sup>b</sup>	NS	3.3 <sup>b</sup>	3.3 <sup>b</sup>	3.2 <sup>b</sup>	NS
Buccal torque	3.4 <sup>a</sup>	3.1 <sup>b</sup>	2.8 <sup>b</sup>	NS	2.0 <sup>b</sup>	2.7 <sup>b</sup>	1.9	NS
Distal rotation	2.2 <sup>a</sup>	2.5 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	NS	2.8 <sup>b</sup>	2.7 <sup>b</sup>	2.9 <sup>b</sup>	NS
Mesial rotation	3.0 <sup>a</sup>	3.0 <sup>b</sup>	2.4 <sup>b</sup>	NS	3.9 <sup>b</sup>	3.7 <sup>b</sup>	2.9 <sup>b</sup>	NS

<sup>a</sup> ANOVA indicates analysis of variance; NS, not significant.  
<sup>b</sup> Clinically significant (>0.5 mm/>2.0°).

Figure 44 : Tableau récapitulatifs des différences entre les résultats prédits et réels obtenus en fonction des différents temps de port des gouttières, selon Al-Nadawi (48)

Ainsi, un temps de port augmenté des gouttières (14 jours) permettrait de diminuer certains effets parasites comme la disto-version et la vestibulo-version des molaires maxillaires. De plus, l'intrusion des molaires maxillaires serait mieux contrôlée.

### Élastiques intermaxillaires de classe 2 :

Dans les articles de Ravera et al. (52) et Simon et al. (56) , les élastiques intermaxillaires de classe II sont des 0.25-4,5 oz. Ils recommandent un port de 22h/24 à partir du recul des prémolaires. Un suivi toutes les 6 semaines est réalisé.

Dans l'étude de Garino et al. (54), les élastiques (3/16-4,5 oz) sont portés au moins 22 heures par jour dès le début de la distalisation de la première molaire.

Dans l'étude de Saif et al. (46), le recul molaire n'est pas soutenu par des élastiques de classe II. La perte d'ancrage antérieure qui en résulte est significative. L'utilisation précoce d'élastiques de classe II lors de la distalisation molaire pourrait aider à prévenir cette mésialisation antérieure.

Comba et al. (53) démontrent que les élastiques de classe II sur la canine maxillaire permettraient d'éviter l'ingression consécutive au recul.

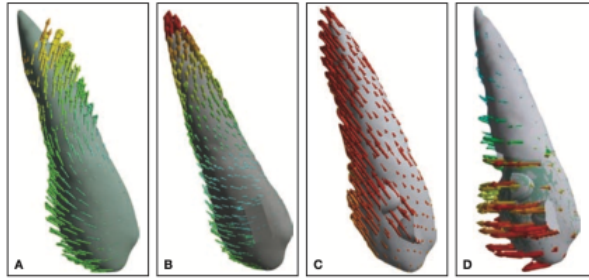


Figure 45 : Analyse des forces exercées sur la canine lors du recul : (A) sans taquet (B) avec taquet vertical rectangulaire (C) avec taquets optimisés (D) avec taquets optimisés et élastiques de classe II. Selon Comba et al (53)

### III. DISCUSSION

Le but de notre recherche est de connaître la quantité de distalisation molaire par aligneurs et sa prédictibilité, ainsi que les effets parasites que l'on peut attendre. De plus, nous avons cherché à mettre en évidence les moyens utilisés pour limiter ces effets.

#### 1) CRITIQUE DE LA METHODE

##### a) Recueil et sélection des articles

Un seul opérateur a sélectionné, lu et interprété les articles de cette revue. Par conséquent, il peut exister un biais de sélection et des articles pertinents ont pu être omis. Un recueil par deux opérateurs indépendants, avec un recoupement des articles retenus par chacun d'eux, aurait été plus adapté.

Le nombre d'articles sélectionnés était assez faible étant donné que la technique de distalisation maxillaire par aligneurs ne date que de quelques années. De plus, seuls les articles traitant des patients adultes étaient sélectionnés, ce qui a d'autant plus diminué le nombre d'articles inclus. 4 des articles inclus ont été publiés en 2021, et un en 2022, ce qui a permis d'établir une revue systématique très récente.

Les 11 articles inclus dans notre étude ont été publiés dans 7 journaux différents, dont seulement 1 possède un impact factor inférieur à 1. Malgré le faible niveau de preuve scientifique accordé aux articles retenus, selon les critères de l'Evidence Based Medicine, (3 et 4 selon la grille de l'ANAES soit un grade C) le fait qu'ils aient été publiés dans des revues variées, dont beaucoup considérées comme étant de haute qualité scientifique,



traduit la pertinence de ces publications et révèle un véritable intérêt porté à ce sujet par le monde orthodontique.

Seulement deux études de cette revue sont prospectives, celle de Al-Nadawi et al (48) et celle de Saif et al. (46). Le niveau de preuve de la littérature étudiée est donc faible, avec l'existence de nombreux biais, ce qui ne permet pas d'extrapoler les résultats obtenus à la population générale.

## **b) Critères d'inclusion et d'exclusion**

Notre revue de la littérature n'inclue que les patients adultes, c'est-à-dire chez lesquels il n'y avait plus de croissance mandibulaire. Cela permet d'éliminer les biais dus à la croissance (part de correction de la classe II par avancée mandibulaire).

Dans toutes les études étudiées, les patients inclus présentent :

- Une classe I squelettique ou une classe II faible
- Une normodivergence
- Une classe 2 molaire bout à bout ou full, bilatérale
- Souvent, l'absence de mésio-rotation molaire.

Seul l'article 11 (Simon et al. (56)) ne décrit pas de critères d'inclusion particulier.

Il semble que les patients avec rotation mésio-vestibulaire des premières molaires maxillaires ait été exclus dans un but de mesure du recul « réel ». Cependant, la présence d'une rotation mésiale initiale permettrait d'obtenir un gain de place par la dérotation, et ainsi une plus grande quantité de recul prémolaire et canin. De plus, certains résultats suggèrent une rotation disto-vestibulaire, cela signifie que les molaires maxillaires ont pu subir une rotation distale au-delà de leur position physiologique.

La normodivergence ne serait pas une condition clinique indispensable car selon les études, aucune augmentation du sens vertical n'est retrouvée.

## **2) CRITIQUE DES RESULTATS**

### **a) Justification du choix de traitement par distalisation**

Les patients sélectionnés dans l'étude de Ravera et al. (52) répondaient tous aux critères justifiant le plan de traitement (distalisation maxillaire) c'est-à-dire :

- Classe I squelettique ou classe II faible (cependant, aucune valeur maximale d'ANB n'est indiquée)
- Classe II occlusale
- Faible encombrement mandibulaire (inférieur ou égal à 4mm)
- Absence des troisièmes molaires maxillaires

Dans l'étude de Caruso, les patients inclus ont une classe II occlusale et un faible encombrement maxillaire. Cependant, aucune indication sur la classe squelettique n'est précisée, ni aucune valeur d'encombrement au niveau de l'arcade mandibulaire.

#### **b) Technique de mesures dans les études in vitro :**

Les études incluses dans cette revue sont en majorité des études in vitro. Les études par méthode des éléments finis (MEF) représentent l'un des meilleurs moyens d'analyser les systèmes de force fournis par les appareils orthodontiques. Cependant, les résultats des études in vitro et in vivo peuvent différer. Lors de l'analyse des déformations des gouttières, il faut toujours garder à l'esprit que le matériau polymère, les propriétés du matériau thermoplastique, les procédures de thermoformage et l'insertion et le retrait de l'appareil sont autant de facteurs agissant sur les propriétés mécaniques des gouttières. Malheureusement, la plupart de ces facteurs sont brevetés et non divulgués par les entreprises et, par conséquent, ne peuvent pas être utilisés pour augmenter la pertinence des analyses par MEF.

Les forces occlusales dérivant des contacts fonctionnels et parafunctionnels affectent la force orthodontique appliquée. Par conséquent, les futures analyses par MEF devraient également prendre en compte ces effets sur le contrôle orthodontique des mouvements dentaires.

La plupart des études EF sur les gouttières transparentes se limitent à une seule dent, ou parfois à un segment de l'arcade dentaire et seules quelques-unes ont établi des modèles d'arcade dentaire complète. (Étude de Chi et al (47)). Des recherches antérieures ont montré que l'extension du segment inclus dans l'analyse influence, bien que dans une faible mesure, la réponse biomécanique du ligament. Considérer l'effet de la distalisation molaire sur l'arcade entière fournirait donc des informations inestimables sur les réponses des différentes unités à l'application des forces orthodontiques.

Les résultats de ces simulations se limitent à l'analyse des schémas de contrainte et de déplacement pendant le mouvement initial de la dent. Cependant, le mouvement dentaire est un processus dynamique à long terme accompagné d'une altération du système de force et de la réponse mécanique des tissus. Le mouvement dentaire et la force générée par les gouttières étaient maximales au début du processus et diminuaient rapidement. Le changement de force pendant le mouvement de la dent peut être exponentiel comme le reflètent les changements de la contrainte PDL la plus élevée et des valeurs de déplacement maximum. Cela peut avoir plusieurs implications. Par exemple, Yokoi et al (60). ont trouvé différents modèles de déplacement pour la simulation statique et dynamique des mouvements dentaires des incisives centrales pendant la fermeture du diastème. Les incisives s'inclinent et tournent pendant l'application initiale de la force et un mouvement de translation est observé après que la charge a été appliquée pendant une période suffisamment longue.

### **c) Technique de quantification de la distalisation**

Lorsque la méthode de mesure était la même (par exemple utilisation de la TRP 2D), les paramètres choisis (les points, lignes et angles de référence) étaient les mêmes, autorisant une comparaison entre les études.

Par contre, les mesures céphalométriques effectuées sur des téléradiographies de profil souffrent de plusieurs écueils. Des erreurs d'identification des repères, leur projection en deux dimensions, la superposition de structures anatomiques et des problèmes relatifs à l'orientation de la tête ont soulevé des réserves quant à la fiabilité de ces analyses. Dans les études de Ravera et al. (52) et Caruso et al, (51) seuls les patients avec une classe II molaire bilatérale ont été inclus. Cela limite le biais dû à la superposition des molaires asymétriques.

Les valeurs de distalisation molaire sont calculées par rapport au plan palatin et à une perpendiculaire à celui-ci passant par le point de Ricketts Pt. En effet, aucune modification significative du plan palatin ne se produit chez les patients dont la croissance est terminée. (61)

Notons enfin que ces mesures et les interprétations qui en découlent, résultent le plus souvent d'un seul opérateur et examinateur ce qui peut engendrer une certaine part de subjectivité dans les valeurs céphalométriques calculées.

Dans les résultats, on retrouve dans l'étude de Ravera et al (52). une quantité de recul du centre de la couronne plus importante que celui de la cuspidé et de l'apex. Cela se traduit forcément par une rotation disto-vestibulaire. Or, on a vu que l'un des critères d'inclusion était l'absence d'une mésio-rotation molaire. Cette rotation disto-vestibulaire se serait donc poursuivie au-delà de la position physiologique de la molaire.

	Garino et al. (54)	Ravera et al. (52)	Caruso et al. (51)
Distalisation par aligneurs	0,25 mm		
Séquence	Quand la deuxième molaire est au 2/3 de son recul, le recul de la première molaire débute. S'en suit le recul des prémolaires. Quand la première prémolaire termine son recul, la canine recule. Enfin, la rétraction en masse des incisives achève la distalisation		
Temps de port des aligneurs	Changement d'aligneur tous les 14 jours, Puis, changement tous les 10 jours pour les aligneurs de finition.		
Élastiques	Élastiques de classe II (3/16 4,5 oz) portés 22h par jour dès le début du recul de la première molaire, et jusqu'à l'obtention de la classe I canine.	Élastiques de classe II à partir du début du recul des prémolaires seulement. ¼ in 4,5 oz. Port au moins 22 heures par jour.	Élastiques de classe II (3/16 4,5 oz) portés 22h par jour dès le début du recul de la première molaire, et jusqu'à l'obtention de la classe I canine.
Taquets	Taquets rectangulaires verticaux de la canine à la deuxième molaire. Power ridges sur les incisives quand ingression terminée		Taquets rectangulaires verticaux de la première prémolaire à la deuxième molaire.

Tableau 8 : tableau comparatif des protocoles de distalisation utilisés dans 3 études

#### d) Mesures des effets parasites

Les résultats sont à prendre avec précaution, notamment pour ceux concernant les effets sur la divergence mandibulaire. En effet, les limites de l'étude de Caruso et al. (51) sont la faible taille de l'échantillon et la quantité moyenne limitée de la distalisation. Cette quantité de recul devrait être augmentée dans de futures études pour confirmer le contrôle de la dimension verticale.

La conception rétrospective des études devrait être remplacée par une conception longitudinale afin de réduire le risque de biais.

Il faut noter que dans les études de Ravera et al. (52) et de Caruso et al. (51) les mesures sur les incisives ont été réalisées en fin de traitement, et non après la phase de distalisation. Ainsi, aucune conclusion ne peut être tirée quant à une éventuelle perte d'ancrage antérieure au moment du recul molaire.

L'étude de Saif et al (46) mesure cette perte d'ancrage lors du recul molaire. Cependant, la quantité de perte d'ancrage dans la région postérieure lors de la rétrusion des dents antérieures n'a pas été prise en compte car les modèles numériques finaux ont été pris directement après la réalisation de la distalisation de la deuxième et de la première molaire. Enfin, des études seraient nécessaires pour connaître l'impact de l'utilisation précoce des élastiques intermaxillaires de classe II dans le contrôle de la perte d'ancrage antérieure.

### **e) Protocole utilisé**

La différence dans les protocoles utilisés dans les études de Garino et al. (54) et celle de Ravera et al (52). se trouve dans la prescription des élastiques de classe II. Dans les résultats, on trouve une version plus importante de la première molaire dans l'étude de Garino et al, (54) pour une combinaison de taquets identique et une fréquence de changements de gouttières identique. Le port d'élastiques débute plus tôt dans l'étude de Garino et al. (54), cela pourrait donc expliquer une disto-version plus importante.

Dans les résultats, on observe une disto-version des molaires maxillaires moins importante dans l'étude de Caruso et al. (51) que dans celles de Ravera et al. (52), alors que dans leur protocole, ils ne prétendent utiliser des taquets verticaux seulement sur les prémolaires et les molaires, et donc pas sur la canine. Il semble probable qu'ils ne décrivent tout simplement pas le taquet utilisé sur la canine (taquet optimisé par exemple), mais que celui-ci soit présent.

### **f) Résultats**

Dans l'étude de Saif et al. (46), les mesures du recul molaire sont effectuées à l'obtention de la classe I. Or, celle-ci peut être obtenue plus tard que prévue (en ayant utilisé un nombre d'aligneurs supérieur à celui prévu). La prédictibilité réelle est donc potentiellement significativement inférieure à celle calculée. Il aurait donc été intéressant de calculer cette prédictibilité réelle au moment où le ClinCheck prévoyait l'obtention de la classe I molaire.

La limite évidente de certaines études, comme pour tous les appareils amovibles, est que le traitement par aligneurs nécessite une coopération totale du patient (port des aligneurs, port des élastiques, visites de contrôles). Si cette dernière n'est pas optimale chez tous les patients, les données récupérées ne seront pas comparables.

Des plus, les mouvements dentaires peuvent avoir été affectés par d'autres facteurs tels que l'âge du patient, l'état parodontal, la longueur radiculaire ... Ces facteurs n'ayant été étudiés dans aucune des études de cette revue.

Enfin, dans deux articles (52) (50) les auteurs déclarent avoir des conflits d'intérêts ainsi qu'un financement de la part de la société Align. En effet, certains auteurs sont conférenciers pour cette société. Ces mêmes auteurs ont également participé à l'étude de Garino et al. (54). Certains biais peuvent donc exister dans ces études et les résultats sont à prendre avec précautions.

#### **g) Récidive / stabilité**

Notre revue n'apporte aucun renseignement sur la quantité de récurrence des molaires maxillaires distalisées pendant la période de contention.

## IV. SYNTHESE

### 1) CLINCHECK : LES TAQUETS

#### a) Sur les molaires : Cela dépend

→ Du type de mouvement souhaité

- Disto-version molaire ou translation :
  - Taquets optimisés ou verticaux mésiaux si l'on souhaite un mouvement radiculaire distal important (translation).

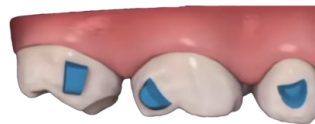


Figure 46 : taquet rectangulaire vertical mésial sur la deuxième molaire, taquet optimisé sur la première molaire

- Si le déplacement requis n'est qu'un déplacement distal de la couronne, les taquets ne sont pas nécessaires, seule la plasticité de l'aligneur suffit.

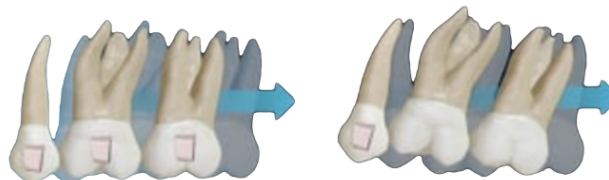


Figure 47 : la distalisation par mouvement de translation nécessite des taquets / la distalisation par version n'en nécessite pas nécessairement

- Dérotation molaire
  - Si la mésio-rotation initiale est importante, un taquet optimisé de dérotation est recommandé. Un taquet rectangulaire vertical faciliterait le mouvement de rotation disto-vestibulaire. (Chi el al. (47))



Figure 48 : taquet optimisé de dérotation sur la première molaire

- Expansion molaire
  - Utiliser un taquet optimisé d'expansion

→ De la forme de la dent et de sa taille (cuspides, sillons, hauteur coronaire) qui influent sur la nécessité ou non de taquet.

- Ainsi, une molaire courte ou sans cuspide demandera la présence d'un taquet même si l'on souhaite une version.
- Si la couronne est trop courte pour placer un taquet rectangulaire vertical, placer un taquet horizontal rectangulaire.

→ Des facteurs patients tels que l'état parodontal. En effet, les taquets conventionnels étant très rétentifs, il est préférable d'utiliser des taquets optimisés ou de plus faible taille qui entraînent moins de microtraumatismes lors de l'insertion / désinsertion de l'aligneur, et ce d'autant plus si la dent (forme, taille) est rétentive.

Enfin, il faut noter que si l'on place un taquet en mésial au niveau de la première molaire et un en distal au niveau de la deuxième molaire, l'aligneur est moins rétentif entre ces deux dents et donc les taquets perdent de leur efficacité.

#### **b) Sur les prémolaires et les canines :**

Les doubles taquets optimisés sont le meilleur choix pour créer un couple et ainsi permettre un mouvement se rapprochant de la translation. Cependant, ces doubles taquets sont souvent difficilement utilisables (taille de la couronne, interférence avec d'autres éléments comme des découpes optimisées). Les taquets optimisés simples ne sont pas suffisants pour permettre un contrôle radiculaire lors du recul. Dans ces cas, il sera donc préférable, si possible, de choisir un taquet rectangulaire vertical avec biseau mésial.





Figure 49 : A gauche, double taquet optimisé favorisant un mouvement de translation. A droite, un taquet optimisé simple et un taquet rectangulaire vertical.

Si l'on doit positionner une découpe de bouton sur la dent (canine ou molaire mandibulaire en général), il faudrait placer un taquet afin d'augmenter la rétention de l'aligneur et diminuer les effets parasites dus aux élastiques (rotation, égression). Au niveau de la molaire mandibulaire, il vaut mieux placer la découpe de bouton en mésial et le taquet en distal afin de minimiser les effets parasites dus au port des TIM II.

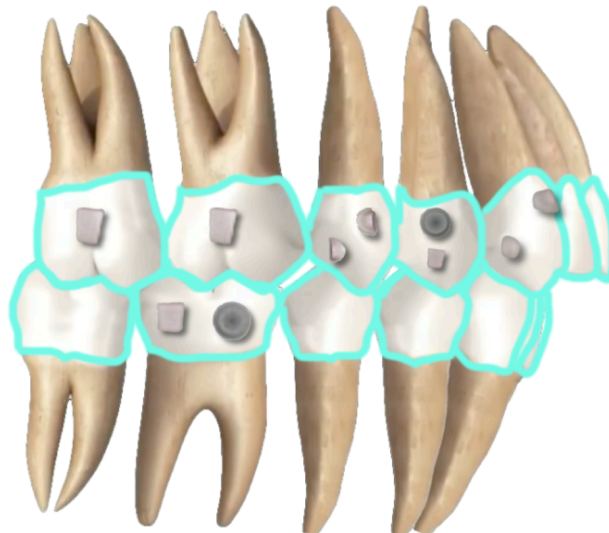


Figure 50 : proposition de positionnement idéal des taquets pour une distalisation maxillaire par aligneurs permettant de diminuer les effets parasites. (image personnelle)

### c) Sur les incisives :

De nombreuses tentatives précoces de distalisation de plus de 0,25 mm par gouttière, en utilisant des matériaux de qualité inférieure, ont entraîné le glissement des gouttières des dents antérieures. Pour cette raison, des taquets vestibulaires ou palatins rétentifs sur les canines ou les incisives doivent toujours être envisagés.

Des taquets horizontaux sur la face palatine des incisives maxillaires peuvent augmenter l'ancrage.

Lors de la rétraction, demander des Power ridges pour prévenir la perte de torque antérieure.

## **2) CLINCHECK : AUTRES**

- Éviter les contacts postérieurs forts : ingresser la partie distale de la seconde molaire mandibulaire et égresser la première molaire mandibulaire si la courbe de Spee est augmentée.
- Utiliser des taquets sur la surface palatine des incisives maxillaires pour augmenter la rétention si besoin, puis les changer par des Power ridges pour prévenir la perte la perte de torque pendant la rétraction antérieure. (Demander le recul incisif couplé à une ingression antérieure si besoin).
- Vérifier que le surplomb est suffisant pour la rétraction antérieure.
- Sur-corriger la distalisation (« super-classe 1 ») et sur-corriger les mouvements radiculaires distaux de 3 à 4° par rapport à la couronne pour toutes les dents distalisées. (62) En effet, les études ont montré une prédictibilité de 87% pour les mouvements de distalisation maxillaire par aligneurs (56). Les mouvements prédits ne seront jamais complètement cliniquement exprimés du fait de l'accumulation de petites erreurs de fabrication et de modifications biologiques. De plus, la compliance des patients pour le port des élastiques peut ne pas être optimale tout au long du traitement. Cela vaut également pour la rétraction incisive. Une sur-correction du torque radiculo-palatin devrait aider à maintenir un angle inter-incisif adéquat dans un cas impliquant une rétraction antérieure significative, assurant ainsi la correction de la supraclusion. Une correction inadéquate de la supraclusion et de l'angulation des incisives pendant la distalisation entraînera une interférence incisive et empêchera l'obtention d'une relation canine de classe I. Une ouverture de morsure postérieure s'ensuivra, comme on le voit dans la mécanique d'appareils fixes non contrôlée. Bien que cette ouverture buccale soit souvent attribuée à tort à l'intrusion de dents postérieures avec des gouttières, plusieurs études n'ont montré aucun changement vertical significatif des molaires maxillaires ou mandibulaires lors de la distalisation avec le système Invisalign®. (51) (52)

## **3) TEMPS DE PORT DES ALIGNEURS :**

- Un port de 14 jours au début du traitement semble pertinent surtout pour les patients non coopérants et les adultes : l'os alvéolaire doit démarrer son processus de remodelage osseux et les mouvements radiculaires postérieurs nécessitent plus de temps.
- Lorsque les mouvements postérieurs (molaires) sont terminés, un changement tous les 7 jours est possible.
- Il est important d'adapter le port des aligneurs à la nécessité de port des élastiques inter-maxillaires (un changement d'aligneurs tous les 7 jours entraîne un port moindre des élastiques). Il y a donc besoin d'un temps de port incompressible des élastiques pour un résultat optimal et il faudra souvent augmenter le temps de port de chaque gouttière.
- Repasser à un changement tous les 14 jours en fin de traitement pour les adultes afin de stabiliser l'occlusion.

#### **4) PORT DES ELASTIQUES :**

- Démarrer le port des élastiques au plus tard avant le début du recul de la deuxième prémolaire. Le port des élastiques est recommandé dès le début du recul de la deuxième molaire au moins la nuit. En effet, l'absence d'élastiques de classe II lors du recul molaire peut favoriser la perte d'ancrage antérieure (46) lors de ce mouvement. Ainsi, si le patient présente un surplomb important en début de traitement, il est recommandé d'anticiper le port des élastiques.
- Puis, ils doivent être portés jour et nuit jusqu'à ce que les incisives maxillaires aient atteint leur position finale
- Accorder l'accroche des élastiques (boutons/crochet optimisé) avec la version antérieure maxillaire / mandibulaire.

## **V. INTERET D'UN MEMOIRE CLINIQUE : apport des minivis**

La réalisation de cette revue systématique a montré qu'il semble difficile d'obtenir une distalisation maxillaire de plus de 2,5mm. De plus, les effets parasites sont peu étudiés. Pourtant, les cliniciens rapportent souvent des difficultés dans ce type de traitement, avec notamment une perte d'ancrage molaire lors du recul prémolaire, ou des

mouvements parasites des molaires. De plus, l'insuffisance de port des élastiques par le patient peut compliquer d'autant plus l'obtention de la classe I.

Pour cela, l'utilisation de minivis d'ancrage semble pertinente, et ce, d'autant plus lorsque l'on souhaite effectuer un recul molaire de plus de 2,5mm.

Les minivis peuvent être utilisées en ancrage indirect : la minivis en mésial de la première molaire (une fois celle-ci distalisée) fournit un ancrage indirect pour pouvoir distaler les dents antérieures en minimisant le risque de mésialisation molaire. La jonction rigide de la vis à la molaire peut se faire avec un arc rectangulaire acier perpendiculaire au plan occlusal collé à la face vestibulaire de la molaire. Si la minivis est en distal de la première molaire il est possible d'utiliser une ligature métallique de la minivis à un bouton métallique collé sur la face vestibulaire de la molaire.



Figure 51 : utilisation d'une minivis en ancrage indirect pour la distalisation maxillaire (galerie Invisalign), à gauche en utilisant un arc rigide de la vis à la molaire, à droite en utilisant une ligature métallique.

Les minivis peuvent être utilisées en ancrage direct pour la distalisation. En effet, l'élastique de classe II peut être utilisé en « intra-maxillaire », c'est-à-dire de la minivis à la canine ou à la première prémolaire.



Figure 52 : utilisation d'une minivis en ancrage indirect pour la distalisation maxillaire (photo personnelle)

La minivis peut être positionnée en inter-radulaire (en mésial de la première molaire une fois celle-ci distalisée ou dès le début si la place est disponible) ou en parallèle (infra-zygomatique). Il semble important d'effectuer des études pour les cas de distalisation maxillaire par aligneurs avec des minivis d'ancrage afin de savoir s'il est possible d'obtenir

un recul efficace de plus de 2,5mm, et de définir les effets parasites et la prédictibilité des mouvements. Cette biomécanique permettrait non seulement d'éviter (ou diminuer) le port des élastiques de classe II (et donc diminuer la mésialisation de l'arcade mandibulaire et la rotation horaire ainsi que faciliter l'expression du torque antérieur), mais cette augmentation de l'ancrage postérieur permettrait aussi de s'affranchir des taquets sur les incisives maxillaires et donc permettre le placement de power ridges dès le début du traitement. Le contrôle du torque antérieur se ferait donc pendant tout le traitement.

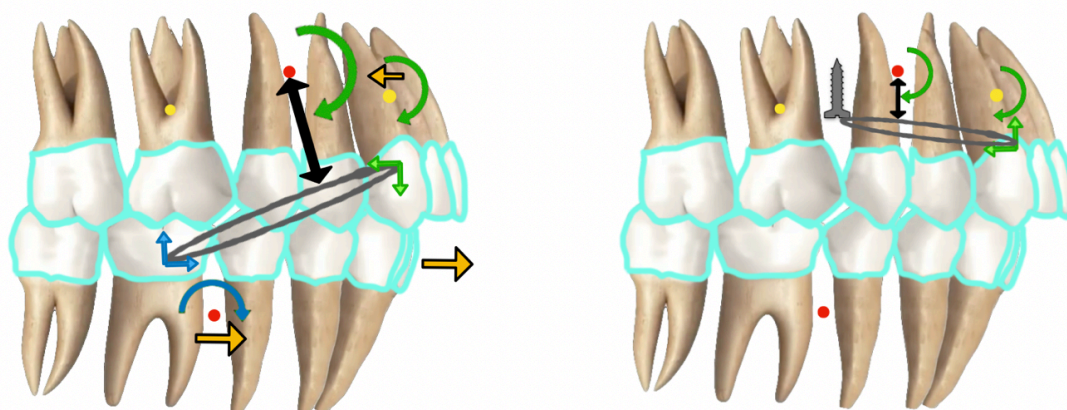


Figure 53 : comparaisons biomécaniques de l'utilisation des TIM II (à gauche) et des minivis en ancrage direct (à droite). Les TIMs II entraînent plus de rotation horaire au maxillaire et une mésialisation de l'arcade mandibulaire. (Image personnelle)

## VI. CONCLUSION

La distalisation des molaires maxillaires par aligneurs est une solution thérapeutique prédictible pour la correction de la classe II occlusale chez l'adulte dans les traitements sans extraction de prémolaire. Notre revue de littérature, bien que discutable sur certains points, a démontré que la distalisation est un protocole de traitement accessible, efficient et reproductible si elle ne dépasse pas 2,5mm.

Les aligneurs ont certains avantages par rapport aux techniques multi-bagues :

- En effet, il est possible de démarrer le recul molaire précocement ainsi que le port des élastiques dès la première gouttière. Avec la technique multi-attaches, la préparation des arcades, avant les mouvements sagittaux et le port des élastiques, est primordiale (environ 6 mois de traitement).
- De plus, les gouttières englobant les incisives limitent les mouvements de version autant qu'un arc « full size » (rarement utilisé en technique multi-bagues).

- Selon certaines études, cette technique par aligneurs pourrait être utilisée chez les patients hyperdivergents puisqu'aucune augmentation du sens vertical n'est retrouvée. D'autres études seraient nécessaires afin de renforcer cette théorie.

De plus, le protocole de distalisation séquentielle limite l'ouverture d'espaces entre les dents distalisées, ce qui est non seulement plus esthétique mais permet aussi un maintien maximal du contact entre les dents et la gouttière et réduit donc la flexibilité de la matière plastique.

Avant d'y avoir recours, le praticien devra s'assurer que le patient sera prêt à faire preuve de compliance (port des gouttières, port des élastiques de classe II). De plus, le recours à l'avulsion des dents de sagesse lorsqu'elles sont présentes, semble pour le moment inévitable.

Ces dernières années, l'utilisation croissante des ancrages osseux, a étendu les indications de recours à la distalisation et a permis de pallier certains effets indésirables engendrés par les autres techniques (vestibulo-version incisive, non compliance du patient...). Cependant la version corono-distale reste un phénomène difficilement contrôlable. Le manque d'études avec du recul sur la stabilité de la distalisation molaire maxillaire ne nous permet pas de conclure à une efficacité sur le long terme.

Parfois, à elle seule la distalisation molaire maxillaire ne suffit pas à corriger une DDM négative importante. Elle pourra être utilisée en complément d'autres solutions de traitement de la DDM sans extraction : la réduction amélaire inter proximale, l'expansion transversale et la version incisive. La combinaison de tous ces moyens, dans les limites de leurs indications, permet de traiter la majorité des patients, tout en repoussant le recours aux extractions de prémolaires saines.

## VII. BIBLIOGRAPHIE

1. **Ciger S, Aksu M, Germeç D.** Evaluation of posttreatment changes in Class II Division 1 patients after nonextraction orthodontic treatment: cephalometric and model analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*, 2005 Feb;127(2):219-23. .
2. **Fortini A, Lupoli M, Giuntoli F, Franchi L.** Dentoskeletal effects induced by rapid molar distalization with the first class appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*, 2004; 125:697–704.
3. **Aknin J. J.** Traitements sans extraction : nouvelles limites, nouveaux moyens. *L'Orthodontie française*, 1995 ; vol 66:635-651.
4. **Ammoury M, Mustapha S, Dechow P, Ghafari J.** Two distalization methods compared in a novel patient-specific finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019 Sept Vol 156, issue 3: 326-336.
5. **Kook Y-A, Bayome M, Trang VTT, Kim H-J, Park JH, Kim KB.** Treatment effects of a modified palatal anchorage plate for distalization evaluated with cone- beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014 July; Vol. 146(1): 47-54.
6. **Gianelly AA, Vaitas AS, Thomas WM, Berger DG.** Distalization of molars with repelling magnets. *J Clin Orthod*, 1988. Vol. 22:40-4.
7. **Yu I-J, Kook Y-A, Sung S-J, Lee K-J, Chun Y-S, Mo S-S.** Comparaison of tooth displacement between buccal mini-implants and palatal plate anchorage for molar distalization: a finite element study. *Eur J Orthod*, 2014. Vol 66:394-402.
8. **Melsen, B.** Effects of cervical anchorage during and after treatment: an implant study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1978, Vol. 73(5):526-540.
9. **Melsen B, Dalstra M.** Distal molar movement with Kloehn headgear: is it stable? *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003, Vol. 123(4):374-378.
10. **Fotis V, Melsen B, Williams S.** Posttreatment changes of skeletal morphology following treatment aimed at restriction of maxillary growth. *Am J Orthod.* 1985, Vol. 88:288-296.
11. **Paolo M. Cattaneo, Michel Dalstra, Birte Melsen.** The transfer of occlusal forces through the maxillary molars: A finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003, Vol. 123(4):367-373.
12. **Suzumura N, Mtani H, Sato K.** Changes and stability of the cant of occlusal plane following orthodontic treatment. *Nihon Kyosei Shika Gakkai zasshi= The journal of Japan Orthodontic Society.* 1989 Aug, Vol. 48(4):404-410.
13. **Rocha, C., De Almeida, R., Henriques, J., Flores-Mir, C., & De Almeida, M.** Evaluation of long-term stability of mesiodistal axial inclinations of maxillary molars through panoramic radiographs in subjects treated with pendulum appliance. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 2016. Vol. 21(1):67-74.
14. **Nabbout, F., & Baron, P.** Anchorage in orthodontics: Three-dimensional scanner input. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 2018. Vol. 8(1) :6-11.

15. **Boileau M.J.** Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte principes et moyens thérapeutiques. Edition Elsevier Masson, 2011. Tome 1.
16. **Hilgers, James J.** The Pendulum appliance for class II Noncompliance therapy. *J Clin Orthod.* 1992, Vol. 26:706-714.
17. **Al-Awadhi EA, Garvey TM, Alhag M, Claffey NM, O'Connell B.** Efficacy of the Nance appliance as an anchorage-reinforcement method. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015 March, Vol. 147(3):330-338.
18. **Fuziy A, de Almeida RR, Janson G, Angelieri F, Pinzan A.** Sagittal, vertical, and transverse changes consequent to maxillary molar distalization with the pendulum appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* Oct 2006, Vol. 130(4), pp. 502-10.
19. **Gianelly, Anthony A.** Distal movement of the maxillary molars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998 July, Vol. 114(1):66-72.
20. **Cacciatore, G, et al.** Active-treatment effects of the Forsus fatigue resistant device during comprehensive Class 11 correction in growing patients. *Korean Journal of Orthodontics.* 2014, Vol. 44(3), pp. 136-143.
21. **Sugawara J, Kanzaki R, Takahashi I, Nagasaka H, Nanada R.** Distal movement of maxillary molars in nongrowing patients with the skeletal anchorage system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006, Vol. 129:723-733.
22. **Polat-Ozsoy Ö, Kircelli BH, Arman-Özçirpıcı A, Pektaş ZÖ, Uçkan S.** Pendulum appliances with 2 anchorage designs: Conventional anchorage vs bone anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008 March, Vol. 133(3):339.e9-339.e17.
23. **Andrews, Lawrence F.** The six keys to normal occlusion. *Am J orthod.* 1972, Vol. 62, no 3, pp. 296-309.
24. **Lejoyeux, E.** L'arc droit bioprogressif. In: Flageul F, Lejoyeux E. Propositions orthodontiques / classe II / Situations critiques. Paris : *Quintessence International*, 2011. 49-63.
25. **Orthlieb, J-D, Manière-Ezvan, A.** Classe 2 ou classe 3 molaire : Comment établir une occlusion fonctionnelle ? *Revue d'Orthopédie Dento-Faciale.* 2019, Vol. 53(1):9-20.
26. **Junquiera MH, do Valle-Corotti KM, Garib DG, Vieira RB, Ferreira FV.** molar in normal occlusion and class II, division 1 malocclusion. *Dental Press J Orthod,* 2011. Vol 16:90-98.
27. **Henry, R-G.** Relationship of the maxillary permanent molar in normal occlusion and malocclusion. *Am J Orthod.* 1956, Vol. 42:288-306.
28. **Friel, S.** Determination of the angle of rotation of the upper first molar to the median graph of the palate in the different type of malocclusion. *Dent Pract.* 1959, Vol. 9:72-78.
29. **Mattia Fontana, Mauro Cozzani, Alberto Caprioglio.** Non-compliance maxillary molar distalizing appliances: an overview of the last decade. *Progress in Orthodontics,* 2012. Vol. 13, issue 2. 173-184.
30. **Ngantung V, Nanda RS, Bowman SJ.** Posttreatment evaluation of the distal jet appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop,* 2001. Vol 120 :85.



31. **Nishii Y, Hidenori K, Hideharu Y.** Three-dimensional evaluation of the distal jet appliance. *World J Orthod*, 2002. p. 7.
32. **Janson G, Sathler R.** Correction of Class II malocclusion with Class II elastics: A systematic review. Sao Paulo : *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2013. Vol 143(3):383-392.
33. **Waddah Sabouni, Alexandre Eichelberger, Gilles Koubi Alexandre Azria, Georges Rachlin.** Avantages et limites de l'orthodontie par aligneurs Présentation d'un système GEPI - Groupe d'Étude en Parodontologie et Implantologie. *L'information dentaire*, 2017. Vol. 5.
34. **Weir, T.** Clear aligners in orthodontic treatment. *Australian Dental Journal*, 2017. Vol 62(1):58-62.
35. **Buschang PH, Shaw SG, Ross M, Crosby D, Campbell PM.** Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces. *Angle Orthod*, 2014. Vol 84: 391-396.
36. **Karkhanechia M, Chow D, Sipkinc J, et al.** Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy. *Angle Orthod*, 2013. Vol 83:146-151.
37. **Miller KB, McGorray SP, Womack R, et al.** A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2007. Vol 131:302.e1-302.e9.
38. **Machado, R. M.** Space closing using aligners. *Dental Press Journal of Orthodontics*. 2020, Vol. 25 : 85-100.
39. **Schupp W., Haubrich J. and Mourlaas J.** Les aligneurs en orthodontie diagnostic, biomécanique, planification et traitements. London : Quintessence international., 2017.
40. **Tai S., Dib M., & Boyd R.** Orthodontie invisible guide clinique des traitements par aligneurs. Berlin : Quintessence publishing, 2018.
41. **T, Weir.** Orthodontic Aligner Treatment: A Review of Materials, Clinical Management, and Evidence. *Australasian Orthodontic Journal*, 2021. Vol 37(1):139-140.
42. **Cai Y, He B, Yang X, Yao J.** Optimization of configuration of attachment in tooth translation with transparent tooth correction by appropriate moment-to-force ratios: Biomechanical analysis. *Bio-medical materials and engineering*. 2015, Vol. 26(1):507-517.
43. **Kravitz, N.D., Kusnoto, B., BeGole, E., Obrez, A., and Agran, B.** How well does invisalign work ? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009, Vol. 135(1):27-35.
44. **Momtaz, P.** The effect of attachment placement and location on rotational control of conical teeth using clear aligner therapyThe effect of attachment placement and location on rotational control of conical teeth using clear aligner therapy. 2016. 29-36.
45. **Durrett, S. J.** Efficacy of composite tooth attachments in conjunction with the Invisalign Tm system using three-dimensional digital technology: Thèse de doctorat. University of Florida. 2004.

46. **Saif B, Pan F, Mou Q, Han M, Bu W, Zhao J and al.** Efficiency evaluation of maxillary molar distalization using Invisalign based on palatal rugae registration. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2022, Vol. 161(4), p. 372-379.
47. **Chi J., Liu Y.** Three-Dimensional Finite Element Analysis of Maxillary Molar Distalization Using Different Attachments with Clear Aligners. 2021
48. **Al-Nadawi, Mays.** Effect of clear aligner wear protocol on the efficacy of tooth movement: A randomized clinical trial. *Angle Orthodontist*. 2021, Vol. 91(2).
49. **Ayidaga, C., Kamiloglu, B.** Effects of Variable Composite Attachment Shapes in Controlling Upper Molar Distalization with Aligners: A Nonlinear Finite Element Study. *Journal of Healthcare Engineering*. 2021.
50. **Rossini, G; Schiaffino M.; Parrini S.; Sedran A.; Deregibus A..** Upper Second Molar Distalization with Clear Aligners: A Finite Element Study. *Applied Sciences*. 2020.
51. **Caruso, S.; Nota A.; Ehsani S.; Maddalone E.; Ojima K.; Tecco S.** Impact of molar teeth distalization with clear aligners on occlusal vertical dimension: a retrospective study. *BMC Oral Health*. 2019, Vol. 19:182.
52. **Ravera, S., Castroflorio, S., Garino, F., Daher, S., Cugliari, G., and Deregibus, A.** Maxillary molar distalization with aligners in adult patients: a multicenter retrospective study. *Progress in Orthodontics*. 2016, Vol. 17(1):1-9.
53. **Comba, B., Parrini, S., Rossini, G., Castroflorio, T., Deregibus, A.** A Three-Dimensional Finite Element Analysis of Upper-Canine Distalization with Clear Aligners, Composite Attachments, and Class II Elastics. *J Clin Orthod*. 2017, Vol. 51(1):24-28.
54. **Garino, F., Castroflorio.** Effectiveness of Composite Attachments in Controlling Upper- Molar Movement with Aligners. *JCO*, 2016. Vol. 6:341-347.
55. **Gomez, J. P., Pena, F. M., Martinez, V., Giraldo, D., Cardona, C. I.** Initial force systems during bodily tooth movement with plastic aligners and composite attachments: A three-dimensional finite element analysis. *The Angle Orthodontist*. 2015, Vol. 85(3):454-460.
56. **Simon, M., Keilig, L., Schwarze, J., Jung, B. A., & Bourauel, C.** Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: Incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014, Vol. 145(6):728-736.
57. **FP., Van der Linden.** Changes in the position of posterior teeth in relation to rugae points. *Am J Orthod*. 1978, Vol. 74, pp. 142-161.
58. **Lanteri V, Cossellu G, Farronato M, Ugolini A, Leonardi R, Rusconi F, et al.** Assessment of the stability of the palatal rugae in a 3D-3D superimposition technique following Slow maxillary expansion (SMe). *Sci Rep*. 2020, Vol. 10.
59. **RG, Ricketts.** Relationship of the maxillary permanent molar in normal occlusion and malocclusion. *Am J Orthod*, 1996. Vol. 42.

60. **Yokoi, Y., Arai, A., Kawamura, J., Uozumi, T., Usui, Y., & Okafuji, N.** Effects of attachment of plastic aligner in closing of diastema of maxillary dentition by finite element method. *Journal of Healthcare Engineering*. 2019.
61. **Gianelly, AA.** Distal movement of the maxillary molars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1998, Vol. 114: 66-72.
62. **Vlaskalic, V., & Samoto, H.** Class II Correction with Weekly Changes of Computer-Generated Aligners: Distalize or Jump? : *Journal of clinical orthodontics* , 2018 December. Vol.52 (12):684-700.
63. **Patterson, Brian D.** Class II malocclusion correction with Invisalign: Is it possible? Sao Paulo, Brazil : *merican Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2020. Vol. 159(1):41-48.

## VIII. TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURE 1 : A. RELATIONS ENTRE L'OCCLUSION INITIALE ET FINALE ET LE PROFIL DES TISSUS MOUS APRES EXTRACTION DES PREMIERES PREMOLAIRES SUPERIEURES DANS LE TRAITEMENT DE CLASSE II. B. RELATIONS ENTRE L'OCCLUSION INITIALE ET FINALE ET LE PROFIL DES TISSUS MOUS APRES DISTALISATION MOLAIRE DANS LE TRAITEMENT SANS EXTRACTION DE CLASSE II. ....	15
FIGURE 2 : FACTEURS ANATOMIQUES LIMITANT LE RECU D'UNE DEUXIEME MOLAIRE MAXILLAIRE (SINUS PROCIDENT, ALVEOLE PEU LARGE, TRES FAIBLE DISTANCE RACINE-OS CORTICAL, RACINE LONGUE). IMAGE PERSONNELLE.....	16
FIGURE 3 : CENTRE DE RESISTANCE DE LA MOLAIRE MAXILLAIRE.....	17
FIGURE 4 : MOMENT DE VERSION ASSOCIE AU RECU CREE LORS DE L'APPLICATION D'UNE FORCE DE DISTALISATION (RECU + ROTATION DANS LE PLAN HORIZONTAL).....	18
FIGURE 5 : LA CREATION D'UN MOMENT DE VERSION DANS LA DIRECTION OPPOSEE PERMET DE RESISTER A LA TENDANCE DE VERSION DE LA DENT LORS DE L'APPLICATION DE LA FORCE DE DISTALISATION.....	18
FIGURE 6 : DEROTATION MOLAIRE.....	18
FIGURE 7 : FORCES GENEREES LORS D'UNE DISTALISATION MAXILLAIRE. A) UNE FORCE EXERCEE PAR UN CORPS SUR UN AUTRE GENERE UNE FORCE EGALE ET DE DIRECTION OPPOSEE SUR LE CORPS QUI L'EXERCE (TROISIEME LOI DE NEWTON). B) UNE VERSION VESTIBULAIRE ET UNE LEGERE INGRESSION INCISIVE PEUT APPARAÎTRE EN CAS DE PERTE D'ANCRAGE.....	19
FIGURE 8 : (A) VALEURS MOYENNES DU VOLUME RADICULAIRE DE CHAQUE DENT. (B) COEFFICIENTS D'ANCRAGE POUR CHAQUE DENT SELON NABBOUT-FAURE. (14).....	19
FIGURE 9 : FORCES EXERCEES SUR LA MOLAIRE POUR UNE MEME LONGUEUR OU POSITION DE BRANCHE.....	20
FIGURE 10 : : <b>GAUCHE</b> : INFLUENCE DES REGLAGES DES BRANCHES EXTERNES SUR LA VERSION DE LA MOLAIRE D'ANCRAGE DANS LE PLAN SAGITTAL. A. REGLAGE DE LA LONGUEUR. B. REGLAGE DE L'ORIENTATION. EN ROUGE : LA LIGNE D'ACTION DE LA FORCE PASSE AU-DESSUS DU CENTRE DE RESISTANCE CE QUI ENTRAINE UNE MESIO-VERSION DE LA MOLAIRE. EN VERT : ELLE PASSE AU-DESSOUS INDUISANT UNE DISTO-VERSION. <b>DROITE</b> : INFLUENCE DU TYPE DE TRACTION SUR LA VERSION DANS LE SENS VESTIBULO-LINGUALE. EN ROUGE : UNE TRACTION BASSE ENTRAINE UNE VERSION CORONO-LINGUALE (CONTRACTION TRANSVERSALE DE L'ARCADE). EN VERT : UNE TRACTION HAUTE ENGENDRE UNE VERSION CORONO-VESTIBULAIRE (EXPANSION).....	20
FIGURE 11 : PENDULUM.....	21
FIGURE 12 : FORSUS (PHOTO PERSONNELLE).....	22
FIGURE 13 : DISTALISATION MOLAIRE UNITAIRE (A GAUCHE) ET DISTALISATION EN MASSE DU SECTEUR POSTERIEUR (A DROITE) D'APRES SUGAWARA (21).....	23
FIGURE 14 : LE BAPA (22).....	23
FIGURE 15 : REDRESSEMENT DES AXES RADICULAIRES LORS DE LA DISTALISATION MAXILLAIRE SI LES DENTS SONT MESIO-VERSEES.....	23
FIGURE 16 : SCHEMA (A) ET PHOTOGRAPHIE (B) REPRESENTANT LES ORIENTATIONS CORONO-MESIALES DES DENTS MAXILLAIRES ET MANDIBULAIRES (24).....	24
FIGURE 17 : SCHEMA (A) CLASSE I MOLAIRE AVEC GRAND AXE VERTICAL DE LA PREMIERE MOLAIRE SUPERIEURE DROITE. (B) CLASSE I MOLAIRE AVEC INCLINAISON ADEQUATE DE LA PREMIERE MOLAIRE MAXILLAIRE, PERMETTANT L'APPARITION D'UN CONTACT AVEC LA DEUXIEME MOLAIRE MANDIBULAIRE.....	24
FIGURE 18 : (A) ANGLE D'HENRY, (B) ANGLE DE FRIEL, (C) LIGNE DE RICKETTS, (D) LA LIGNE DU CENTRE DE L'AXE DES PREMOLAIRES.....	25
FIGURE 19 : EFFETS DENTO-ALVEOLAIRES DES TIM II. EN VERT : UNE EGRESSION ANTERIEURE ET UNE DISTALISATION MAXILLAIRE PROVOQUANT AU NIVEAU DU CENTRE DE RESISTANCE DE L'ARCADE MAXILLAIRE UN MOMENT DE ROTATION HORAIRE. EN BLEU : UNE EGRESSION POSTERIEURE MANDIBULAIRE ET UNE MESIALISATION PROVOQUANT UN MOMENT DE ROTATION MANDIBULAIRE ANTIHORAIRE. ....	27
FIGURE 20 : "BOWING EFFECT" LORS DU RECU DES PREMOLAIRES.....	29
FIGURE 21 : "BOWING EFFECT" LORS DU RECU ANTERIEUR.....	29
FIGURE 22 : POSSIBILITES THERAPEUTIQUES DES CLASSES II DENTAIRE PAR ALIGNEURS.....	30
FIGURE 23 : "V PATTERN", SCENARIO DE DISTALISATION MAXILLAIRE.....	31
FIGURE 24 : SCENARIO ESTHETIQUE DE LA DISTALISATION MAXILLAIRE, L'ALIGNEMENT ANTERIEUR DEBUTE DES LES PREMIERES GOUTTIERES ....	32
FIGURE 25 : DECOUPES OPTIMISEES POUR LE PORT D'ELASTIQUES. A) CROCHET OPTIMISE B) DECOUPE DE BOUTON.....	35
FIGURE 26 : INDICATIONS DES DECOUPES OPTIMISEES EN FONCTION DE LA VERSION DES INCISIVES.....	35
FIGURE 27 : TAQUET (A) OPTIMISE DE DEROTATION, (B) RECTANGULAIRE VERTICAL.....	37
FIGURE 28 : TAQUETS (A) OPTIMISE DE DEROTATION, (B) OPTIMISE DE CONTROLE RADICULAIRE, (C) OPTIMISE DE ROTATION ET DE SOUTIEN D'EXPANSION.....	37
FIGURE 29 : TAQUET (A) RECTANGULAIRE HORIZONTAL, (B) OPTIMISE DE CONTROLE RADICULAIRE.....	38
FIGURE 30 : ANCRAGE OSSEUX TEMPORAIRE UTILISE POUR MAINTENIR LA POSITION DE LA PREMIERE MOLAIRE MAXILLAIRE LORS DU RECU PREMOLAIRE (BIBLIOTHEQUE INVISALIGN).....	38
FIGURE 31 : ANCRAGE OSSEUX TEMPORAIRE PERMETTANT L'ATTACHE D'UN ELASTIQUE ENTRE LA MINIVIS ET LA CANINE (ILLUSTRATION PERSONNELLE).....	38
FIGURE 32 : ORGANIGRAMME RELATIF A LA REALISATION DE LA REVUE SYSTEMATIQUE.....	45

FIGURE 33 : REPARTITION DES ARTICLES PAR ANNEE DE PUBLICATION.....	48
FIGURE 34 : SEXES ET AGES MOYENS DES PARTICIPANTS DES ARTICLES SELECTIONNES (ETUDES IN VIVO).....	49
FIGURE 35 : EN ROUGE, LES PLANS X ET Y UTILISES POUR LES DIFFERENTES MESURES (52).....	50
FIGURE 36 : MESURE DU RECU MOLAIRE SUR DES MODELES SUPERPOSES SUR LES PAPILLES PALATINES D'APRES SAIF ET AL. (46).....	51
FIGURE 37 : "EVASEMENT" BUCCO-LINGUAL DU SEGMENT DE L'ALIGNEUR PENDANT LE RECU SELON GOMEZ ET AL (55).....	55
FIGURE 38 : CORRELATION ENTRE LA QUANTITE DE RECU MOLAIRE OBTENUE ET LA QUANTITE DE PERTE D'ANCRAGE OBTENUE D'APRES SAIF ET AL. (46).....	56
FIGURE 39 : DEFORMATION DE L'ALIGNEUR LORS DE L'INSERTION (SELON ROSSINI ET AL) (50).....	56
FIGURE 40 : EN ROUGE LA ZONE DE PRESSION MAXIMALE EXERCEE PAR L'ALIGNEUR. A DROITE, DANS LA CONFIGURATION SANS TAQUET SUR LA DEUXIEME MOLAIRE, CETTE ZONE EST AU NIVEAU DE LA SURFACE GINGIVALE, A GAUCHE, LA ZONE DE CONTACT DE PRESSION MAXIMALE SE TROUVE SUR LA FACE VESTIBULAIRE DU TAQUET. D'APRES ROSSINI ET AL (50). ....	58
FIGURE 41 : INFLUENCE DES TAQUETS DANS LE CONTROLE DU RECU DE LA PREMIERE MOLAIRE MAXILLAIRE .....	59
FIGURE 42 : MODELES DE DEPLACEMENT DE LA RACINE ET DE LA COURONNE DE LA PREMIERE MOLAIRE MAXILLAIRE POUR LES 3 GROUPES : (A) SANS TAQUET (B) AVEC TAQUET RECTANGULAIRE VERTICAL (C) AVEC TAQUET OPTIMISE.....	60
FIGURE 43 : MODELE DE DEPLACEMENT DE LA SECONDE MOLAIRE. A : SANS TAQUET, B : AVEC TAQUET HORIZONTAL RECTANGULAIRE, C : AVEC TAQUET RECTANGULAIRE VERTICAL, D : AVEC DEUX TAQUETS COMBINES. SELON CHI ET AL. (47). EN BLEU, LE CENTRE DE ROTATION....	61
FIGURE 44 : TABLEAU RECAPITULATIFS DES DIFFERENCES ENTRE LES RESULTATS PREDITS ET REELS OBTENUS EN FONCTION DES DIFFERENTS TEMPS DE PORT DES GOUTTIERES, SELON AL-NADAWI (48).....	62
FIGURE 45 : ANALYSE DES FORCES EXERCEES SUR LA CANINE LORS DU RECU : (A) SANS TAQUET (B) AVEC TAQUET VERTICAL RECTANGULAIRE (C) AVEC TAQUETS OPTIMISES (D) AVEC TAQUETS OPTIMISES ET ELASTIQUES DE CLASSE II. SELON COMBA ET AL (53).....	63
FIGURE 46 : TAQUET RECTANGULAIRE VERTICAL MESIAL SUR LA DEUXIEME MOLAIRE, TAQUET OPTIMISE SUR LA PREMIERE MOLAIRE .....	70
FIGURE 47 : LA DISTALISATION PAR MOUVEMENT DE TRANSLATION NECESSITE DES TAQUETS / LA DISTALISATION PAR VERSION N'EN NECESSITE PAS NECESSAIREMENT.....	70
FIGURE 48 : TAQUET OPTIMISE DE DEROTATION SUR LA PREMIERE MOLAIRE.....	71
FIGURE 49 : A GAUCHE, DOUBLE TAQUET OPTIMISE FAVORISANT UN MOUVEMENT DE TRANSLATION. A DROITE, UN TAQUET OPTIMISE SIMPLE ET UN TAQUET RECTANGULAIRE VERTICAL.....	72
FIGURE 50 : PROPOSITION DE POSITIONNEMENT IDEAL DES TAQUETS POUR UNE DISTALISATION MAXILLAIRE PAR ALIGNEURS PERMETTANT DE DIMINUER LES EFFETS PARASITES. (IMAGE PERSONNELLE) .....	72
FIGURE 51 : UTILISATION D'UNE MINIVIS EN ANCRAGE INDIRECT POUR LA DISTALISATION MAXILLAIRE (GALERIE INVISALIGN), A GAUCHE EN UTILISANT UN ARC RIGIDE DE LA VIS A LA MOLAIRE, A DROITE EN UTILISANT UNE LIGATURE METALLIQUE.....	75
FIGURE 52 : UTILISATION D'UNE MINIVIS EN ANCRAGE INDIRECT POUR LA DISTALISATION MAXILLAIRE (PHOTO PERSONNELLE) .....	75
FIGURE 53 : COMPARAISONS BIOMECHANIQUES DE L'UTILISATION DES TIM II (A GAUCHE) ET DES MINIVIS EN ANCRAGE DIRECT (A DROITE). LES TIMS II ENTRAINENT PLUS DE ROTATION HORAIRE AU MAXILLAIRE ET UNE MESIALISATION DE L'ARCADE MANDIBULAIRE. (IMAGE PERSONNELLE) .....	76

## **IX. TABLE DES TABLEAUX**

TABLEAU 1 : CRITERES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION DES ETUDES RECHERCHEES .....	42
TABLEAU 2 : EVALUATION DE LA QUALITE DES ETUDES INCLUSES SELON LES GRADES DE L'HAS .....	44
TABLEAU 3 : TABLEAU RECAPITULATIF DES ARTICLES SELECTIONNES .....	47
TABLEAU 4 : JOURNAUX DE PUBLICATION DES ARTICLES SELECTION AINSI QUE LEUR IMPACT FACTOR.....	48
TABLEAU 5 : ENSEMBLES DES ETUDES SELECTIONNES ET LEUR GRADE ASSOCIE SELON LES CRITERES DE LA HAS.....	49
TABLEAU 6 : TABLEAU RECAPITULATIF DES MOUVEMENTS CORONAIRES ET APICAUX OBSERVES LORS DU RECU MOLAIRE. D'APRES CHI ET AL (37) .....	55
TABLEAU 7 : MODIFICATIONS RETROUVEES DANS LE SENS VERTICAL.....	57
TABLEAU 8 : TABLEAU COMPARATIF DU PROTOCOLE DE DISTALISATION UTILISE DANS 3 ETUDES .....	67

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.



**Eva ILHARREGUY**

Thèse pour l'obtention du DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR en CHIRURGIE DENTAIRE 2022 – n°

**Discipline** : Orthopédie Dento-faciale

**Titre** : Quantité de distalisation maxillaire par aligneurs dans le traitement des classes II chez l'adulte et effets parasites : revue systématique de la littérature.

**Résumé :**

**Objectif** : L'objectif principal de cette revue est de quantifier le recul maxillaire que l'on peut obtenir grâce à la technique de distalisation séquentielle par aligneurs dans les classes II d'Angle chez l'adulte. Les objectifs secondaires sont de déterminer les effets parasites à ce mouvement et l'impact de la quantité de distalisation sur leur nature et leur intensité. Enfin, le dernier objectif consiste à déterminer les méthodes pour limiter ces effets.

**Matériel et méthode** : Une revue systématique a été effectuée à partir des bases de données bibliographiques suivantes : Pubmed, Scopus, Google Scholar et Cochrane Library, les études allant de décembre 2005 à Février 2022. Cette recherche a été complétée par une recherche manuelle portant sur la bibliographie des articles initialement sélectionnés.

**Résultats** : La recherche a identifié 25 articles dont 11 correspondaient aux critères d'inclusion. Une certaine hétérogénéité des résultats a été constatée et il semble difficile d'en ressortir des recommandations cliniques claires et consensuelles.

**Conclusion** : D'autres études cliniques sont nécessaires pour évaluer la thérapeutique de distalisation maxillaire chez l'adulte par aligneurs. Il semble tout de même acquis que ce mouvement est prédictible jusqu'à 2,5mm avec un bon contrôle des effets parasites à condition que les critères cliniques (port des élastiques, taquets, port des aligneurs ...) soient respectés et adaptés à chaque cas.

**Mots-clés** : Aligneurs, distalisation maxillaire, adultes, effets parasites

**Title** : Amount of maxillary distalization with clear aligners in the treatment of class II in adults and parasitic effects : a systematic review.

**Summary :**

**Purpose**: The main objective of this review is to quantify the maxillary distalization that can be obtained using the sequential distalization technique with aligners in Angle class II in adults.

The secondary objectives are to determine the parasitic effects of this movement and the impact of the amount of distalization on their nature and intensity. Finally, the last objective consists in determining the methods to limit these effects.

**Material and method**: A systematic review was carried out using the following bibliographic databases: Pubmed, Scopus, Google Scholar and Cochrane Library, studies ranging from December 2005 to February 2022. This search was supplemented by a manual search on the bibliography of the articles initially selected.

**Results**: The search identified 25 articles of which 11 met the inclusion criteria. A certain heterogeneity of the results was observed and it seems difficult to come out with clear and consensual clinical recommendations.

**Conclusion**: Further clinical studies are needed to evaluate maxillary distalization therapy in adults using aligners. All the same, it seems certain that this movement is predictable up to 2.5 mm with good control of parasitic effects provided that the clinical criteria (wearing of elastics, attachments, wearing of aligners, etc.) are respected and adapted to each case.

**Key-words** : **Aligners, maxillary distalisation, adults, parasitic effects**

Université de Bordeaux – Collège des Sciences de la Santé

UFR des Sciences Odontologiques

46 rue Léo Saignat

33076 BORDEAUX