

**UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER**  
**FACULTE DE SANTE – DEPARTEMENT D'ODONTOLOGIE**

---

ANNEE 2023

2023 TOU3 3074

**THESE**

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement  
par

**Alexia MARQUE**

Le 12 septembre 2023

**LE REcul ORTHODONTIQUE MOLLAIRE SUR MINI-VIS : REVUE DE  
LITTERATURE ET PROPOSITION D'UN PROTOCOLE D'ANALYSE  
TRIDIMENSIONNELLE**

Directeur de thèse : Dr Pascal BARON

JURY

Président : Pr Frédéric VAYSSE  
1<sup>er</sup> assesseur : Dr Pascal BARON  
2<sup>ème</sup> assesseur: Dr Antoine GALIBOURG  
3<sup>ème</sup> assesseur : Dr Charlotte THOMAS



**UNIVERSITÉ  
TOULOUSE III  
PAUL SABATIER**



**Faculté de santé  
Département d'Odontologie**

➔ **DIRECTION**

**Doyen de la Faculté de Santé**

M. Philippe POMAR

**Vice Doyenne de la Faculté de Santé**

**Directrice du Département d'Odontologie**

Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

**Directeurs Adjointes**

Mme Sarah COUSTY

M. Florent DESTRUHAUT

**Directrice Administrative**

Mme Muriel VERDAGUER

**Présidente du Comité Scientifique**

Mme Cathy NABET

➔ **HONORARIAT**

**Doyens honoraires**

M. Jean LAGARRIGUE +

M. Jean-Philippe LODTER +

M. Gérard PALOUDIER

M. Michel SIXOU

M. Henri SOULET

**Chargés de mission**

M. Karim NASR (*Innovation Pédagogique*)

M. Olivier HAMEL (*Maillage Territorial*)

M. Franck DIEMER (*Formation Continue*)

M. Philippe KEMOUN (*Stratégie Immobilière*)

M. Paul MONSARRAT (*Intelligence Artificielle*)

➔ **PERSONNEL ENSEIGNANT**

**Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention**

**56.01 ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE et ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE** (Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER)

**ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE**

Professeurs d'Université : Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER, M. Frédéric VAYSSE

Maîtres de Conférences : Mme Marie- Cécile VALERA, M. Mathieu MARTY

Assistants : Mme Anne GICQUEL, M. Robin BENETAH

Adjointes d'Enseignement : M. Sébastien DOMINE, M. Mathieu TESTE, M. Daniel BANDON

**ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE**

Maîtres de Conférences : M. Pascal BARON, M. Maxime ROTENBERG

Assistants : M. Vincent VIDAL-ROSSET, Mme Carole VARGAS JOULIA

Adjointes d'Enseignement : Mme. Isabelle ARAGON

**56.02 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE** (Mme NABET Catherine)

Professeurs d'Université : M. Michel SIXOU, Mme Catherine NABET, M. Olivier HAMEL, M. Jean-Noël VERGNES

Maîtres de Conférences : Mme Géromine FOURNIER

Adjointes d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, M. Jean-Philippe GATIGNOL

Mme Carole KANJ, Mme Mylène VINCENT-BERTHOUMIEUX, M. Christophe BEDOS

**Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale**

**57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE** (M. Philippe KEMOUN)

**PARODONTOLOGIE**

Professeurs d'Université : Mme Sara LAURENCIN- DALICIEUX,

Maîtres de Conférences : Mme Alexia VINEL, Mme. Charlotte THOMAS

Assistants : M. Jeffrey DURAN, M. Antoine AL HALABI

Adjointes d'Enseignement : M. Loïc CALVO, M. Christophe LAFFORGUE, M. Antoine SANCIER, M. Ronan BARRE ,

Mme Myriam KADDECH, M. Matthieu RIMBERT,

### CHIRURGIE ORALE

Professeur d'Université : Mme Sarah COUSTY  
Maîtres de Conférences : M. Philippe CAMPAN, M. Bruno COURTOIS  
Assistants : M. Clément CAMBRONNE, M. Antoine DUBUC  
Adjoints d'Enseignement : M. Gabriel FAUXPOINT, M. Arnaud L'HOMME, Mme Marie-Pierre LABADIE, M. Luc RAYNALDY,  
M. Jérôme SALEFRANQUE,

### BIOLOGIE ORALE

Professeurs d'Université : M. Philippe KEMOUN, M. Vincent BLASCO-BAQUE  
Maîtres de Conférences : M. Pierre-Pascal POULET, M. Matthieu MINTY  
Assistants : Mme Chiara CECCHIN-ALBERTONI, M. Maxime LUIS, Mme Valentine BAYLET GALY-CASSIT,  
Mme Sylvie LE  
Adjoints d'Enseignement : M. Mathieu FRANC, M. Hugo BARRAGUE, Mme Inessa TIMOFEEVA-JOSSINET

## **Section CNU 58 : Réhabilitation Orale**

### **58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX** (M. Franck DIEMER)

#### **DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE**

Professeur d'Université : M. Franck DIEMER  
Maîtres de Conférences : M. Philippe GUIGNES, Mme Marie GURGEL-GEORGELIN, Mme Delphine MARET-COMTESSE  
Assistants : M. Ludovic PELLETIER, Mme Laura PASCALIN, M. Thibault DECAMPS  
M. Nicolas ALAUX, M. Vincent SUAREZ, M. Lorris BOIVIN  
Adjoints d'Enseignement : M. Eric BALGUERIE, M. Jean-Philippe MALLET, M. Rami HAMDAN, M. Romain DUCASSE,  
Mme Lucie RAPP

#### **PROTHÈSES**

Professeurs d'Université : M. Philippe POMAR, M. Florent DESTRUHAUT,  
Maîtres de Conférences : M. Antoine GALIBOURG,  
Assistants : Mme Margaux BROUTIN, Mme Coralie BATAILLE, Mme Mathilde HOURSET, Mme Constance CUNY  
M. Anthony LEBON  
Adjoints d'Enseignement : M. Christophe GHRENASSIA, Mme Marie-Hélène LACOSTE-FERRE, M. Olivier LE GAC, M. Jean-Claude COMBADAZOU, M. Bertrand ARCAUTE, M. Fabien LEMAGNER, M. Eric SOLYOM,  
M. Michel KNAFO, M. Victor EMONET-DENAND, M. Thierry DENIS, M. Thibault YAGUE,  
M. Antonin HENNEQUIN, M. Bertrand CHAMPION

#### **FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX**

Professeur d'Université : Mr. Paul MONSARRAT  
Maîtres de Conférences : Mme Sabine JONJOT, M. Karim NASR, M. Thibault CANCEILL, M. Julien DELRIEU  
Assistants : M. Paul PAGES, M. Olivier DENY  
Adjoints d'Enseignement : Mme Sylvie MAGNE, M. Thierry VERGÉ, M. Damien OSTROWSKI

-----  
*Mise à jour pour le 01 Septembre 2023*

## Remerciements

À **mes parents**, je vous remercie pour la vie que vous m'avez offerte. Je vous remercie d'avoir toujours cru en moi, de m'avoir donné le goût du travail et d'avoir fait de moi la femme que je suis aujourd'hui. Ça y est ! Une de moins ! Maintenant, pensez à vous et profitez de la vie. Vous le méritez plus que quiconque. Abandonnons la pudeur : je vous aime.

À **mes sœurs**, mes meilleurs copines, mes tortionnaires, mes victimes. Vous avez rendu ma vie plus belle avec vos folies, nos combats de catches, nos spectacles de « pépé mémé », nos concerts sous la caméra de mamie. Une sœur tu l'aimes autant que la détestes, c'est dire comment je vous aime fort. **Philippine**, ma deuxième mère, mon soutien en PACES, je te souhaite de trouver calme et bonheur dans la vie. **Laura**, ma petite sœur, je suis très fière de toi et je te souhaite d'être heureuse et en paix.

À **Adam**, mon amour. Merci de m'avoir donné confiance en l'autre. Merci pour le calme et l'apaisement que tu m'apportes au quotidien. Merci pour les rires et l'amour dont tu m'inondes. Merci d'être là. Je t'aime.

À **grand père et mamie**, merci pour les billets glissés en douce, merci pour les chansons grand père, merci pour ton amour mamie. Encore merci pour tout l'amour que vous nous avez donné, vous avez été des grands parents formidables.

À **Papito et Mamita** merci pour votre soutien et votre affection.

À mes copines de longue date, **Victoire, Justine, Chiara, Nina et Alexia**, merci de m'accompagner depuis quinze ans. À nos sorties en bateau, nos pique-nique notre magnifique enfance sur le bassin.

À mes amis de Bordeaux, **Loana, Claire, Albane, Sophie et Apolline** merci d'avoir rythmé nos soirées étudiantes, merci pour vos rires, votre descente et votre bonne humeur au quotidien. **Guillaume, Vincent, Martin et Quentin** merci d'avoir fait entrer MPG dans ma vie, je vous en serai éternellement reconnaissante.

À mes **co-internes**, je vous remercie pour cet internat, un peu moins pour les gâteaux en salle de pause. Merci à toi **Antho**, mon binôme, je serais toujours au bout du fil si tu en as besoin. Merci à toi ma bim's, beaucoup d'amour sur toi et ta belle petite famille.

À la troupe, **Justine, Clara, et Alix** merci de m'avoir permis de traverser cet internat. Merci pour votre soutien dans les pires comme dans les meilleurs moments. À toi **Nineb** merci d'être là, tu es un exemple pour nous tous. Merci d'avoir rendu cet internat supportable. Je nous souhaite encore plein de belles aventures.

Au président de jury de thèse :

**VAYSSE Frédéric**

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

*Je suis très honorée que vous ayez accepté la présidence de ce jury de thèse. Je vous remercie pour votre implication dans notre cursus d'odontologie. Je retiendrai les réunions de concertation pluridisciplinaire du mardi midi comme un moment d'échange et d'apprentissage.*

*Veillez trouver ici le témoignage de ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements.*

Au directeur de thèse :

**BARON Pascal**

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire.
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- MBH en Biomathématiques,
- Enseignant-chercheur au CNRS (UMR 5288) – Laboratoire d'Anthropologie,

(équipe imagerie)

- Spécialiste qualifié en Orthopédie-Dento-Faciale,

*Je vous remercie sincèrement d'avoir accepté d'être mon directeur de thèse. Merci de m'avoir guidé dans le choix de ce sujet.*

*Vous avez su me transmettre votre passion de notre formidable métier. Ce fut un plaisir d'apprendre la spécialité d'ODF à vos côtés.*

*Je vous remercie pour vos enseignements théoriques et vos « baronnettes », ainsi que pour votre écoute et votre disponibilité à toute heure.*

*Veillez trouver dans ce travail l'expression de ma reconnaissance et de mon profond respect.*

Au jury de thèse :

**GALIBOURG Antoine**

- Maître de conférence des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire,  
Docteur de l'université Paul Sabatier
- Ingénieur de l'Institut Catholique des Arts et Métiers,
- Responsable du Diplôme d'Université d'Implantologie

*Je suis très honorée que vous ayez accepté de siéger à ce jury de thèse. Merci pour votre implication clinique et votre disponibilité qui aura permis de magnifier nombre de nos cas d'orthodontie.*

*Veillez trouver ici l'expression de ma profonde estime.*

Au jury de thèse :

**THOMAS Charlotte**

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur de l'université Paul Sabatier
- Ancienne interne des Hôpitaux de Toulouse
- Diplôme d'Etudes Spécialisées de Médecine Bucco-Dentaire (DES MBD)
- Diplôme universitaire de Parodontologie
- Diplôme Universitaire de conception Fabrication assistée par ordinateur (CFAO) en odontologie
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier.

*Je vous remercie sincèrement d'avoir accepté de siéger dans ce jury. Je vous remercie pour votre implication majeure dans la collaboration entre nos deux services. Ce fut un plaisir de travailler à vos côtés pendant cet internat. Merci pour votre gentillesse, votre franchise et vos précieux conseils.*

*Soyez assurée de ma gratitude et de mes amitiés sincères.*



# **Table des matières**

<b>Introduction .....</b>	<b>12</b>
<b>I. Le recul molaire supérieur.....</b>	<b>13</b>
<b>1. Indications .....</b>	<b>13</b>
A. La mésioposition molaire .....	13
a. Rappel : les classes d'Angle .....	13
b. Les inclusions .....	15
c. Perte précoce des V .....	15
B. La dysharmonie dento-maxillaire.....	16
<b>2. Arsenal thérapeutique .....</b>	<b>18</b>
A. Les dispositifs extra-oraux :.....	18
B. Les dispositifs intra-oraux : .....	19
C. Les ancrages osseux .....	20
a. Historique .....	20
b. Caractéristique d'un mini implant : .....	20
c. Positionnement des ancrages.....	21
d. Succès et échecs .....	22
e. Douleur .....	24
f. Stabilité des ancrages soumis aux forces orthodontiques .....	24
<b>3. Biomécanique du recul indirect.....</b>	<b>25</b>
<b>4. Analyse systématique de la littérature .....</b>	<b>27</b>
A. Introduction .....	27
a. Contexte .....	27
b. Objectif .....	27
B. Matériels et Méthodes.....	27
a. Protocole et enregistrement .....	27
b. Critères d'éligibilité.....	27
c. Les critères d'exclusion.....	28
d. Sources d'informations.....	28
e. Stratégie de recherche .....	28
f. Sélection des études et extraction des données .....	29
C. Résultats.....	30
a. Sélections des études .....	30
b. Résultats de chaque étude .....	31
c. Synthèse des résultats .....	43

<b>II. Méthodes de superposition usuelles .....</b>	<b>44</b>
<b>1. Superposition radiologique .....</b>	<b>44</b>
<b>2. Superposition sur modèles.....</b>	<b>45</b>
A. Modèle numérique : un outil fiable .....	45
B. Les rugae : un repère fiable.....	46
a. Définition .....	46
b. Histologie.....	46
c. Aspect médico-légal : apport des rugae .....	48
d. Superpositions sur les rugae.....	48
e. Analyse des mouvements dentaires.....	51
<b>III. Proposition d'un protocole original de superposition sur modèle numérique .....</b>	<b>55</b>
<b>1. Importation du fichier .stl sur Avizo .....</b>	<b>56</b>
<b>2. Différenciation modèles T0-T1 .....</b>	<b>56</b>
<b>3. Positionnement selon x, y et z.....</b>	<b>57</b>
<b>4. Délimitation de la zone de superposition .....</b>	<b>57</b>
<b>5. Superposition surfacique des modèles T0 et T1.....</b>	<b>58</b>
<b>6. Repositionnement de T0 dans le repère .....</b>	<b>59</b>
<b>7. Segmentation des dents à analyser .....</b>	<b>59</b>
<b>8. Alignement des surfaces dentaires.....</b>	<b>60</b>
<b>9. Calcul des déplacements dentaires .....</b>	<b>60</b>
A. Déplacements métriques .....	60
B. Déplacements angulaires .....	61
<b>10. Vérification de l'outil de superposition .....</b>	<b>62</b>
<b>11. Mise en application : Résultats d'un cas.....</b>	<b>63</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>65</b>
<b>Annexe des figures .....</b>	<b>66</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>68</b>

## Introduction

Les classes II d'Angle en Europe représentent 20% de la population et environ 33% des patients que nous recevons en consultation s'inscrivent dans ce schéma occlusal. (1)

Les traitements des classes II peuvent être segmentés en trois catégories : les traitements avec extractions, les traitements sans extraction et les traitements orthodontico-chirurgicaux. Parmi les traitements sans extraction nous retrouvons la distalisation molaire. C'est une thérapeutique de choix pratiquée depuis de nombreuses années en vue de l'obtention de la classe I dentaire. Depuis Kingsley, en 1866, nous utilisons pour la distalisation molaire des méthodes extra-orales mais l'évolution technique et les exigences sociétales rendent ces dispositifs moins utilisés aujourd'hui. D'autres dispositifs intra-oraux type bielles de Herbst ou pendulum étaient utilisés, mais une perte d'ancrage significative était engendrée par ces dispositifs. (1)(2) Junji Sugawara a marqué un tournant dès 1998 avec ses plaques d'ancrage (Skeletal Anchorage System ou SAS) qui ont permis de s'affranchir de l'ancrage dentaire et de la coopération du patient pour la distalisation molaire. (3)

Nous nous sommes penchés au cours de notre travail sur différents points. D'abord, nous avons repris les aspects de la distalisation molaire : conventionnelle, puis assistée par ancrages osseux et spécifiquement par mini-vis. Une analyse de la littérature a été menée pour quantifier le déplacement molaire obtenu en fonction des techniques utilisées, avec une attention particulière pour le recul indirect assisté par minivis. Ensuite, nous avons investigué les différentes méthodes de superpositions et leur fiabilité.

L'objectif de cette thèse est de proposer une technique fiable et innovante pour évaluer le recul molaire. Pour ce faire, nous voudrions réaliser un protocole original d'analyse tridimensionnelle par superposition sur modèles digitaux, après un recul molaire indirect assisté par mini-vis.

# I. Le recul molaire supérieur

Nous allons évoquer les indications cliniques d'un traitement par recul molaire à l'arcade maxillaire. Nous évoquerons la mésio-position molaire puis la dysharmonie dento-maxillaire.

## 1. Indications

Nous retrouvons une mésiosition molaire dans certains cas de figure : la classe II, les inclusions, les pertes dentaire précoces des molaire temporaires et la DDM.

### A. La mésiosition molaire

#### a. Rappel : les classes d'Angle

Dès 1899, Angle définie que « les relations mésio-distales des dents, des arcades et des mâchoires s'expriment par le rapport entre les premières molaires maxillaires et mandibulaires ».(4)

→ La classe I : « les arcades présentent des relations mésio-distales normales. La cuspide mésio-vestibulaire de la première molaire maxillaire est reçue dans le sillon vestibulaire de la molaire mandibulaire, dans un environnement occlusal normal (courbe d'occlusion, arcade inférieure circonscrite par l'arcade supérieure). Les dents postérieures et antérieures aux premières molaires possèdent les mêmes relations ».



Figure 1 : Classe I d'Angle

→ La classe II : « elle est caractérisée par une occlusion distale de plus d'une demi-cuspide de la première molaire mandibulaire par rapport à la maxillaire, de chaque côté, ce qui oblige les autres dents à se placer dans la même relation distale ».

- Division 1 : « (...) caractérisée par une arcade maxillaire étroite, allongée, des incisives maxillaires vestibulées, une lèvre supérieure courte, des incisives mandibulaires allongées et une lèvre inférieure épaisse qui s'interpose entre les arcades ».
- Division 1, subdivision : « les caractéristiques sont les mêmes, excepté que l'occlusion distale est unilatérale »



Figure 2 : Classe II.1 d'Angle

- Division 2 : « l'occlusion molaire mandibulaire est distale des deux côtés, mais avec une orientation linguale des incisives ».
- Division 2, subdivision : « les conditions occlusales sont les mêmes, mais l'occlusion distale est unilatérale ».



Figure 3 : Classe II.2 d'Angle

→ La Classe III : « caractérisée par une occlusion mésiale des molaires mandibulaires par rapport aux maxillaires, des deux côtés, les molaires mandibulaires dépassant l'occlusion normale de plus d'une demi-cuspide ».

La Classe III Subdivision : « l'un des côtés seulement présente une occlusion trop mésiale »



Figure 4 : Classe III d'Angle

## b. Les inclusions

Les inclusions dentaires sont des affections fréquentes impactant 0,8 à 3,6 % de la population générale. Elles touchent de façon préférentielle les troisièmes molaires puis les canines maxillaires avec une prévalence de 0.8–2.8%.<sup>(5)</sup>

Les causes les plus courantes d'inclusions de la canine décrites dans la littérature comprennent les perturbations de la position du bourgeon dentaire, le manque d'espace, une voie d'éruption anormale, des dents surnuméraires et un facteur génétique. <sup>(6)</sup>

Ces inclusions peuvent ainsi mener à une mésiosition de la totalité de l'hémi-arcade concernée avec une position de l'incisive latérale au contact de la prémolaire et la mésiosition de la molaire maxillaire.

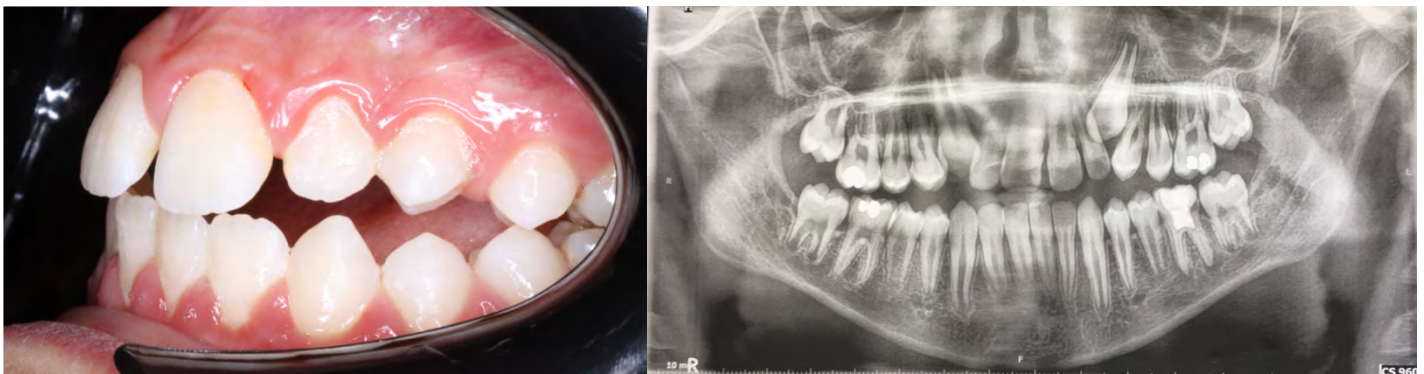


Figure 5 : Inclusion de 23, perte d'espace sur l'arcade avec 22 au contact de 24.

## c. Perte précoce des V

D'après Hutchinson, en 1882, la perte prématurée des dents de lait va engendrer une perte d'espace sur arcade. Cette théorie fut validée au cours du siècle suivant notamment par Brothwell en 1997. <sup>(7)</sup> De nombreuses études tendent à prouver que cette perte d'espace est d'autant plus marquée que les extractions sont maxillaires et postérieures<sup>(8)</sup>. Plus l'extraction de la V a lieu prématurément, plus la migration de la première molaire sera importante.<sup>(9)</sup>

Ces pertes dentaires précoces vont donc engendrer des malocclusions par éruption de la première molaire permanente orientée avec sa couronne en mésial, d'autant plus inclinée que l'extraction aura été précoce.<sup>(10)</sup> Puis, une dérive mésiale de la molaire permanente est observée.<sup>(11)</sup>

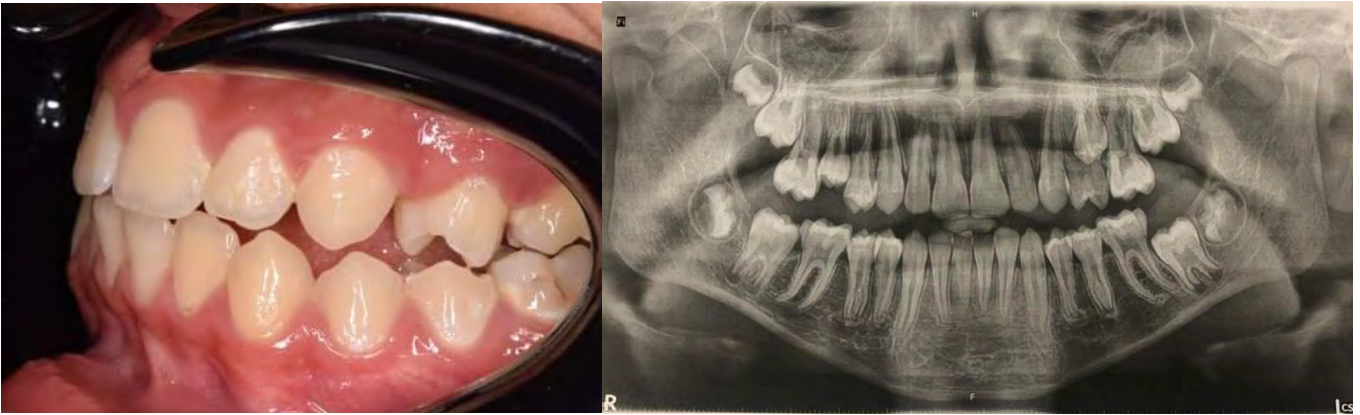


Figure 6 : Perte précoce de 65, perte d'espace sur arcade avec 24 au contact de 26.

Nous avons donc évoqué les causes pouvant entraîner une mésioposition de la molaire maxillaire mais il existe une autre situation clinique qui va mener à une thérapeutique de recul molaire : la dysharmonie dento-maxillaire ou DDM.

### B. La dysharmonie dento-maxillaire

La première définition des DDM nait en 1743 avec Bunon qui la définit comme une « Insuffisance de place qui occasionne le mauvais arrangement des dents, ainsi que le bel ordre de la mâchoire tant en longueur qu'en circonférence. ». (12)

Par la suite Cauhépé parlera d'une « disproportion de volume osseux entre les dents et les bases osseuses », et Château mettra en évidence deux formes cliniques « la macrodontie et la microdonties relatives aux arcades ». (13)

Cette définition ne cessera d'évoluer au fil des siècles. Aujourd'hui, la définition proposée par la Société Française d'orthopédie dento-faciale la présente comme une « anomalie caractérisant l'insuffisance ou l'excès de place pour l'alignement des dents à un moment donné. La microdontie relative et la macrodontie relative en sont les formes cliniques ». (14)

La dysharmonie dento-maxillaire est une anomalie de type contenant-contenu. Il s'agit d'une autre situation nécessitant un recul des molaires malgré une relation molaire normale. Ces dernières sont en classe I mais encombrées. Pour obtenir un alignement dentaire compatible avec la stabilité et la santé parodontale, on peut réaliser, en fonction de la sévérité, :



- En denture mixte : des extractions pilotés (Tweed et al.) (15),
- En denture permanente :
  - o des extractions de dents définitives,
  - o de la réduction inter-proximale amélaire,
  - o de l'expansion,
  - o Ou du recul des arcades maxillaire et mandibulaire : c'est cette dernière qui nous intéressera dans ce travail.



*Figure 7 : Dysharmonie dento-maxillaire chez une patiente de 11 ans.*

Nous avons donc évoqué les situations cliniques impliquant un recul de la molaire supérieure. Nous allons dès à présent évoquer les outils à notre disposition afin d'y parvenir.



## 2. Arsenal thérapeutique

### A. Les dispositifs extra-oraux :

Dès la fin du 18<sup>ème</sup> siècle Kingsley introduit les dispositifs amovibles extra-oraux avec pour objectif la rétraction incisives. Cet appareillage se compose d'une bandelette d'or en vestibulaire des dents attachée à un casque en cuir avec des élastiques.

En 1921, Angle crée à son tour un système de head gear suivi de Case qui l'utilisera afin de réaliser du recul molaire. (16)

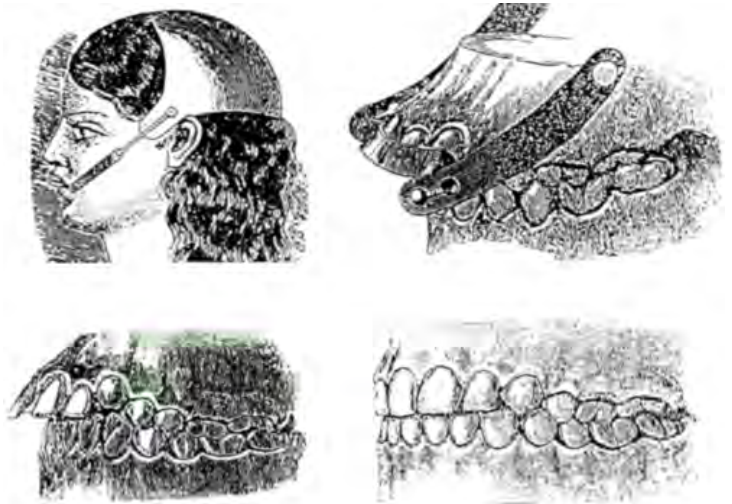


Figure 8 : Le Head gear de Kingsley 1866 (16)

En 1986, Merrifield développe un système s'appuyant sur les head gear afin de réaliser une préparation d'ancrage des molaires mandibulaires. Ce système sera connu sous le nom de « 10-2 system ». Il permettra grâce au port de head gear mandibulaire un recul en Tip des molaires mandibulaire. (17)

Ces dispositifs amovibles permettent un recul molaire de 1,04mm en moyenne. Aucune perte d'ancrage antérieure n'est rapportée et on retrouve même un mouvement distal des incisives d'environ 1,09mm. Ainsi qu'une diminution de 0,86mm du surplomb (2).

On note un manque de reproductibilité des traitements, de fait la principale limitation qui est la coopération difficile du patient pour le port du dispositif. On retrouve également de risques de blessures oculaires.(18)

## B. Les dispositifs intra-oraux :

Les dispositifs intra-oraux sont des dispositifs insérés par le praticien et placés en bouche en continu. Ils permettent de s'affranchir en partie de la coopération patient et sont aujourd'hui mieux acceptés. Ils sont nombreux mais les plus couramment retrouvés dans la littérature sont les bielles de Herbst, le Jasper jumper, le Pendulum, l'arc de Wilson ou le Distal jet.

En comparaison, les dispositifs intra-oraux permettent un recul en moyenne de 2,20 mm.

Cependant, en antérieur on observe une vestibuloposition en moyenne de 1,82mm avec une augmentation du surplomb de 1,64mm en moyenne.(2)



Figure 9: Utilisation d'un pendulum afin de réaliser un recul molaire maxillaire unilatéral gauche suite a une mésio-position de 26.

C'est pour s'affranchir de ces préoccupations d'ancrage et d'esthétique que les mini-vis ont été présentées.

## C. Les ancrages osseux

### a. Historique

L'ancrage est au centre des préoccupations des orthodontistes depuis plusieurs décennies.

La révolution de l'ancrage a été initiée cliniquement par Sugawara et al. (3) et ses plaques d'ancrages. La première apparition dans la littérature de ce système en 1998 sous l'acronyme SAS (skeletal anchorage system) a ouvert la voie à de nombreuses évolutions en orthodontie.

Dès les années 2000, s'en suit l'apparition des mini-vis d'ancrage avec notamment Kyung et al.(19). Par opposition aux implants traditionnels les mini-vis n'utilisent pas l'ostéointégration décrite par Branemark et al.(20) mais la stabilité primaire par rétention mécanique. (21)

### b. Caractéristique d'un mini implant :

Nous pouvons décomposer un mini-implant de la manière suivante :

- La tête : qui permet de se connecter au dispositif orthodontique
- Le col : qui traverse la muqueuse
- Le corps : la portion endo-osseuse
  - o Qui peut être cylindrique, tronconique ou mixte
  - o Avec une flèche auto-forante : un préforage peut être réalisé en amont en fonction de la densité osseuse du site opératoire
  - o Avec un filetage qui peut être auto-taraudant ou non
- Longueur : 6mm à 7mm au maxillaire, 8mm à 9mm à la mandibule
- Diamètre : 1,2 à 1,5mm au maxillaire, 2mm à la mandibule
- Insertion avec un torque de 4 à 8N/cm

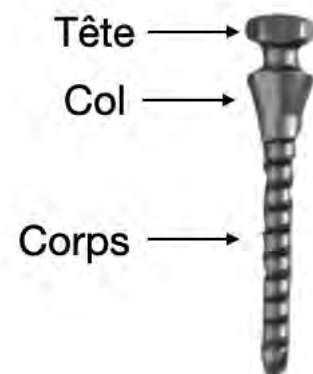


Figure 10: Schéma d'un mini-implant

- Matériaux utilisés : Titanium de grade 5 (21)(22)

### c. Positionnement des ancrages

Chaque situation anatomique présente des avantages et des inconvénients qu'il faut prendre en compte lors du choix du placement du mini-implant. Le placement peut être :

→ Infra-zygomatique : (23)

- Pas de nécessité de déplacer l'ancrage entre les phases de recul
- Pas d'interférence radiculaire
- Positionnement proche du centre de résistance de l'arcade dentaire
- Procédure de mise en place plus technique

→ Palatin antérieur :

- Os de qualité
- Peu de risque de lésion des structures anatomiques avec l'aire en T définie par Wilmes et al. (sites d'insertion des mini-vis dans le palatine vert = optimal; jaune = limité en raison de la variabilité individuelle de l'épaisseur de l'os; rouge = inadapté en raison de l'épaisseur de la muqueuse ou des faisceaux vasculaires; bleu = foramen incisif)
- Distalisation importante
- Pas d'interférence avec le système dentaire
- Étape de laboratoire
- Dispositif onéreux et complexe à mettre en œuvre, sans contrôle du sens vertical.

(24)(25)(26)

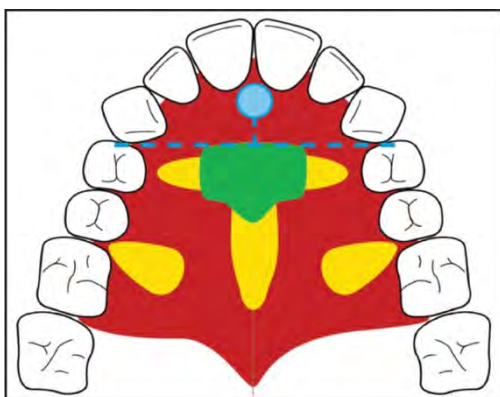


Figure 12: Aire en T de Wilmes et al.



Figure 11: Vascularisation palatine

→ Inter-radicaire vestibulaire oblique ou vertical :

- Utilisé dès la phase de nivellement alignement
- Bien toléré par le patient
- Simple de pose
- Accessibilité plus facile
- Quantité de recul possible importante (3mm)
- Qualité de l'os bonne mais plus faible qu'en palatin
- Proximité radicaire
- Importante quantité de distalisation possible en deux temps avec déplacement du mini-implant une fois le recul molaire réalisé.(27) (28)

#### d. Succès et échecs

D'après une méta-analyse publiée en 2012 par Papageorgiou et al. (29), on considère comme un échec un mini implant qui ne peut être utilisé pour assurer le rôle pour lequel il a été posé. On considère comme un succès une absence de complication ou d'effet secondaire qui puissent mettre en danger la santé ou les résultats du traitement.

Le taux d'échec se porte à 13% dans cette étude sans lien avec l'âge, le sexe ou le côté mais avec plus de complications à la mandibule qu'au maxillaire. Il n'y a pas de différence entre préforage ou absence de préforage ni de corrélation entre les échecs et le temps de mise en charge.

D'après une seconde méta-analyse publiée en 2018 par Alharbi et al. (30) on retrouve 13% d'échec, avec une association entre échecs, type de gencive et tabagisme. Les échecs les plus fréquemment retrouvés sont :

Complications	Causes	Conduite à tenir	Pronostic
Une inflammation/ infection des tissus	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Positionnement en gencive non attachée</li> <li>- Hygiène orale insatisfaisante</li> </ul> (31)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si la vis est mobile, la déplacer</li> <li>- Si la vis est en gencive non attachée, la déplacer</li> <li>- Si manque d'hygiène, renforcer l'hygiène</li> </ul>	Dépendant de l'état de santé général du patient
Une absence de stabilité primaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Densité osseuse insuffisante</li> <li>- Mauvais positionnement</li> <li>- Mauvais choix de la vis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déposer et replacer la vis sur un site différent (32)</li> <li>- Déposer la vis et choisir une vis adaptée au site</li> </ul>	Bon
Une perte de stabilité primaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inflammation des tissus</li> <li>- Densité osseuse insuffisante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déposer la vis et la reposer</li> <li>- Changer de site au besoin</li> </ul>	Bon
Une atteinte des structures dentaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mauvais positionnement</li> <li>- Mauvais choix de longueur et de diamètre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déplacer la vis</li> <li>- Utilisation d'une longueur et d'un diamètre adaptés</li> <li>- Rester à 2mm des structures</li> </ul>	N'affecte pas le pronostic de la dent (réparation par minéralisation de la surface de la racine après dépose de la vis) (33)
Atteintes des structures nobles (perforation sinusienne) (34)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plancher sinusien fin</li> <li>- Mauvaise longueur de vis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintien de l'asepsie lors de la pose</li> <li>- Utilisation d'une longueur et d'un diamètre adaptés</li> </ul>	Pas de différence de stabilité Pas de sinusite
Fracture	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diamètre trop étroit</li> <li>- Changement orientation en cours de forage</li> <li>- Torque trop élevé               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Du col : 23 à 32 Ncm</li> <li>- De la tige : 9 a 24 N cm</li> </ul> </li> </ul> (35)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retirer le fragment</li> <li>Laisser le fragment</li> </ul>	Bon
Les échecs biomécaniques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mauvais positionnement du mini-implant</li> <li>- mauvaise gestion des centres de résistance</li> <li>- mauvaise gestion des unités mobiles et stables</li> <li>- perte d'ancrage, vestibulo-version</li> <li>- bascule du plan d'occlusion, apparition d'une infraclusion iatrogène.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rectifier la mécanique</li> </ul>	Bon pronostic, dépendant de l'expérience du praticien

Figure 13: Complications liées aux mini-implants, conduite à tenir et pronostic

D'après l'étude de Kyung et al.(36) les implants positionnés en position palatine ont l'avantage d'être sur un site osseux dense, avec une gencive attachée dense et kératinisée, à distance des structures nobles (dents, nerfs, vaisseaux, sinus). D'après cette étude la réussite est opérateur-dépendante. En effet, durant les 18 premiers mois 9 procédures sur 36 sont des échecs avec un taux de succès de 75%, le taux de succès 6 ans est de plus de 95%.

#### e. Douleur

D'après une étude de Lamberton et al. publiée en 2016 (37) la procédure sous anesthésie topique est plus douloureuse que sous anesthésie injectée. Sous injection d'anesthésique 92% des sujets évaluent leur inconfort entre 0 et 2 sur une échelle visuelle analogique sur 10. C'est comparable d'après les patients à la pose d'un séparateur ou à celle d'un arc d'alignement. (38)

#### f. Stabilité des ancrages soumis aux forces orthodontiques

Une étude publiée par Chen et al. en 2011 avait pour objectif principal d'évaluer la stabilité des mini-vis non soumises à des forces orthodontiques et des mini-vis soumises à des forces orthodontiques. L'objectif secondaire était d'utiliser les vis non chargées pour définir une zone stable du palais.

Dans cette étude :

- 6 mini-vis ont été placées par patient
- 2 mini-vis par patient ont été soumises à des forces orthodontiques
- 90 mini-vis ont été évaluées

Les résultats obtenus sont :

- 5 mini-vis du groupe « non soumises aux forces » ont été perdues
- 1 mini-vis du groupe « soumises aux forces » a été perdue

Le déplacement moyen des mini-vis non chargées était de  $0,23 \pm 0,10$  mm, tandis que pour les minivis chargées, cette valeur était de  $0,24 \pm 0,13$  mm. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes.(39,40)

Dans une seconde étude publiée en 2009 par Jang et al. (41) les auteurs ont choisi de déterminer si les superpositions sur les rugae sont stables en prenant comme « gold standart » des superpositions sur 3 mini-vis positionnées en palatin. Ils ont inclus 10 patients en proalvéolie sur lesquels des extractions de premières prémolaires ont été réalisées et les mouvements de l'incisive centrale maxillaire ont été évalués.

Ils ont ensuite superposé les modèles initiaux et finaux sur les ancrages et évalué si les rugae sont stables. Ils ont trouvé que le point central de la troisième rugae est stable. Dans un second temps, ils ont réalisé les superpositions initiales et finales sur le point central de la troisième rugae. Ils n'ont trouvé aucune différence significative dans les déplacements de l'incisive centrale entre la superposition sur les ancrages par rapport à celle sur les rugae.

### 3. Biomécanique du recul indirect

Nous pouvons définir un recul indirect comme « une ligature métallique qui relie la mini-vis au secteur stable dont il renforce l'ancrage » .(42)

Dans un premier temps, le secteur postérieur est l'unité mobile à distaler. L'unité stable antérieure est reliée au mini-implant par une ligature métallique. Le mini-implant est ligaturé en distal de la canine sur l'arc, et la distalisation se fait à l'aide d'un ressort comprimé entre U4 (ou U3) et U6 (U5+/- U4 étant non prises en charge pour faciliter l'insertion du ressort)

Le système « mini-vis / ligature » constitue le renfort d'ancrage.

On parle d'ancrage absolu car la mini-vis est fixe sous toutes contraintes (exception : perte de la mini-vis et perte de la ligature). L'unité stable n'est pas totalement fixée mais ses possibilités de mouvement sont réduites à un cercle dont le centre est la mini-vis et le rayon la ligature métallique.

Nous pouvons décomposer les forces exercées au niveau de l'unité stable de la manière suivante (43):

- Fh : force parallèle à l'arc susceptible de faire glisser l'unité stable en cas de perte de la ligature longue.



- $F_v$  : force perpendiculaire susceptible d'entraîner une ingression et une bascule anti-horaire du plan d'occlusion.
- $F_t$  : force tangentielle qui est la résultante de  $F_v$  et de  $F_h$
- $F_r$  : force radiale contrée par la ligature rigide

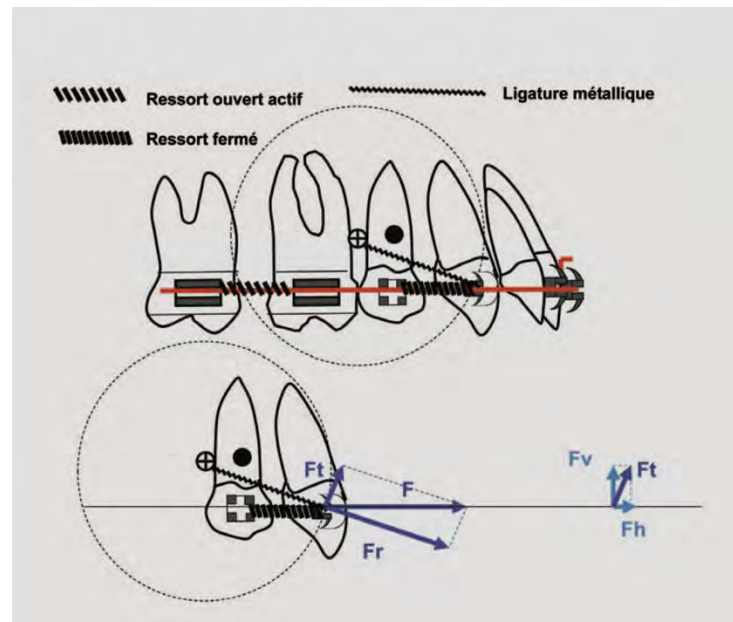


Figure 14: Biomécanique d'un recul indirect ( Faure 2011)

Dans un second temps, dès que le recul prémolaire a été effectué, le secteur antérieur devient l'unité mobile.

Les effets attendus notamment dans le sens vertical, d'un recul indirect sur minivis sont fonction de plusieurs paramètres qui régissent l'équilibre du système : la direction des forces dépendant de la position de la minivis et du point de liaison, le nombre de dents prises en charge qui fait varier le centre de résistance et la rigidité de l'arc qui détermine le type de mécanique, globale ou sectorielle. (44)(45)

#### 4. Analyse systématique de la littérature

##### A. Introduction

###### a. Contexte

Les ancrages font aujourd'hui partie des outils à notre disposition. Nous avons souhaité voir dans la littérature quelles techniques de recul des molaires sur ancrages ont été développées.

###### b. Objectif

L'objectif principal est de réaliser une revue systématique de la littérature afin de rechercher si le recul indirect est représenté dans la littérature.

Les objectifs secondaires de notre analyse systématique sont :

- De passer en revue les différents dispositifs de recul des molaires maxillaires et leur quantité de recul sur des patients traités orthodontiquement
- De répertorier les outils de superposition

##### B. Matériels et Méthodes

###### a. Protocole et enregistrement

Cette revue systématique a été rédigée conformément au Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions 2nd edition et aux Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines ainsi qu'à leurs traductions françaises. (46–48)

###### b. Critères d'éligibilité

En accord avec les critères PICO suivants :

P (Participants) : patients nécessitant un traitement orthodontique

I (Interventions) : traitement par dispositif de recul des molaires maxillaires

C (Comparaison) : comparaison entre pré et post-traitement dans le groupe expérimental de la quantité de recul.

O (Outcome) : évaluer le type de recul, leur quantité et les moyens techniques mis en œuvre.

S (Study design) : Les études cliniques randomisées ainsi que les études cliniques prospectives ou rétrospectives non randomisées contenant au moins des mesures avant et après le traitement ont été incluses.

#### c. Les critères d'exclusion

Les critères d'exclusion étaient :

- Les rapports de cas
- Les articles d'opinions personnelles, les comptes rendus et les articles de description de techniques sans échantillon rapporté
- Les traitements avec extractions, avec distalisation sans utilisation de mini-vis

#### d. Sources d'informations

La stratégie de recherche comprenait un examen des bases de données électroniques. La recherche électronique a été effectuée dans PubMed et Scopus. Les références bibliographiques de chaque étude pertinente ont été examinées afin de découvrir d'autres publications pertinentes et d'améliorer la sensibilité de la recherche.

#### e. Stratégie de recherche

Une recherche électronique a été menée le 25/10/2022 en utilisant la recherche avancée, sans restriction de langue, d'année ou de statut de publication avec les mots clés suivants :

Step	Key words
1	<b>"miniscrew" or "mini-implant" or "micro implant" or "palatal plate" or "skeletal anchorage" or "temporary anchorage" or "temporary anchoring devices" OR "temporary anchorage device" OR "skeletal anchorage" OR "skeletal anchoring" OR "skeletal anchorage" OR "skeletal anchoring"</b>
2	<b>"distalisation" or "distal" or "distalization"</b>
3	<b>"maxilla" or "upper" or "maxillary"</b>
4	<b>molar</b>
	<b>1 AND 2 AND 3 AND 4</b>

Figure 15: Stratégie de recherche

La même recherche a été réalisée le 27/03/2023 afin de nous assurer qu'aucun nouvel article n'ait été publié.

#### f. Sélection des études et extraction des données

Un évaluateur a procédé à la sélection des études. En cas de doute, l'avis d'un second examinateur a été sollicité. Tout d'abord, tous les titres ont été examinés et les articles non pertinents ont été exclus. Ensuite, les articles restants ont été évalués afin d'éliminer les études à partir de la lecture des résumés. Enfin, le texte intégral des articles restants a été vérifié avec précision pour confirmer leur admissibilité en fonction des critères d'éligibilité.

Les données ont été extraites et classées dans les champs suivants : informations générales (Titre, nom de l'auteur et date de publication), objectif, matériels et méthodes (participants, interventions), résultats (principaux résultats et méthodes de mesure).

## C. Résultats

### a. Sélections des études

La recherche initiale a permis d'identifier 114 articles. Après l'examen des titres des articles, 51 articles ont été supprimés et 63 articles potentiellement pertinents ont été identifiés. L'examen des résumés a permis d'exclure 25 articles et d'en sélectionner 38 pour une éventuelle inclusion. Les critères d'inclusion et d'exclusion ont été appliqués aux 38 articles en texte intégral. Finalement, 24 articles ont été inclus. L'organigramme PRISMA illustre la méthodologie de recherche et les résultats.

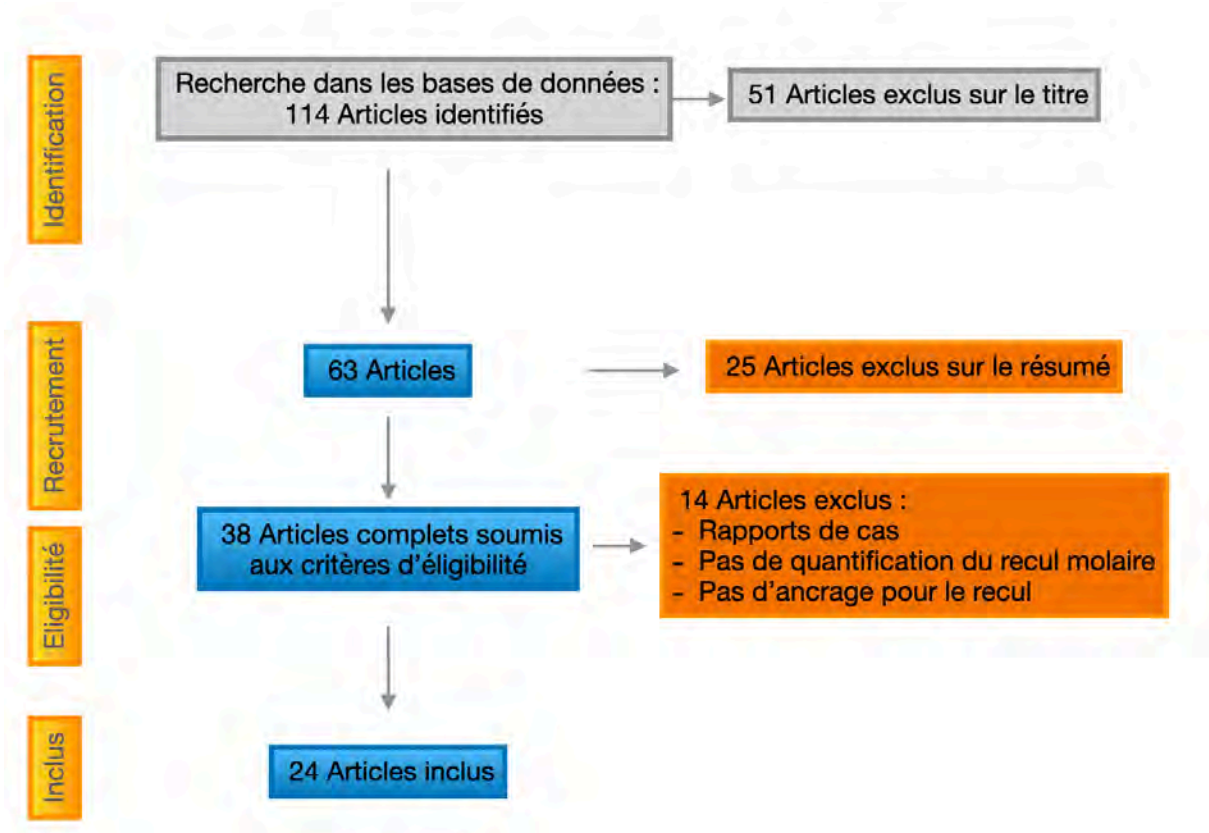


Figure 16 : Diagramme de flux

b. Résultats de chaque étude

Informations générales	Objectif	Matériels et méthodes	Résultats	Commentaires
<b>Maxillary molar distalization with miniscrew-supported appliances in Class II malocclusion: A systematic review 2018 (26)</b>	Évaluer les effets quantitatifs des appareils supportés par mini-vis pour la distalisation des molaires maxillaires dans les cas de malocclusion de classe II.	La recherche systématique a été effectuée sur MEDLINE, EMBASE, CINAHL, PsychINFO, Scopus, revues ,articles de synthèse.	Au total, 298 études ont été sélectionnées. 14 études étaient éligibles. Les valeurs moyennes de distalisation des molaires variaient de 1,8 mm à 6,4 mm. Le tip back moyen des molaires variait de 1,65° à 11,3°. Le recul moyen des prémolaires variait de 1,75 mm à 5,4 mm et des incisives de 0,1 mm à 2,7 mm.	Aucune distinction n'a été faite au niveau des techniques utilisées pour le recul. Dans la majorité des études (85,71%), les mini-vis étaient placées au niveau paramédian palatin. Entre 1 et 2 mini-vis étaient utilisées.
<b>Distalization of maxillary molars using temporary skeletal anchorage devices: A systematic review and meta-analysis 2021(49)</b>	Évaluer les effets du traitement sur les premières molaires maxillaires pendant la distalisation (quantité de distalisation, Tip-back molaire et mouvement vertical) avec des mini-vis	La recherche systématique a été effectuée sur Medline et Scopus jusqu'en septembre 2020 pour trouver des essais contrôlés randomisés (ECR) et des études de cohorte prospectives non randomisées sur la distalisation des molaires maxillaires à l'aide de mini-vis chez les patients	Neuf études (2 ECR et 7 études prospectives) ont été retenues. Dans cinq études, les mini-vis sont infrazygomatiques, tandis que dans deux études inter-radiculaires vestibulaire, et dans deux études médio-palatines. La distalisation de la première molaire était de 2,75 mm avec les mini-vis	Le placement des ancrages était palatin et infrazygomatique pour 7 des études. Dans les deux études restantes, dans l'une d'elles, la traction se fait

	placées en vestibulaire ou en palatin.	présentant une malocclusion de classe II. Après la sélection des études, l'extraction des données et l'évaluation du risque de biais, des méta-analyses ont été réalisées pour la quantité de distalisation, le tip back et les effets verticaux des premières molaires.	inter-radicales vestibulaire, de 4,07 et 4,17 mm avec les mini-vis palatines et infrazygomatiques. Les mini-vis palatines ont été associés à un tip-back de 11,17° de la première molaire, tandis que les mini-vis infrazygomatiques et inter-radicales vestibulaire ont entraîné un tip-back de 3,99° et 1,70°, respectivement.	directement de la mini-vis à la canine. Dans la seconde étude, la mini-vis est utilisée directement avec une traction sur une potence face à un ressort niti fixé à la vis.
<b>Long-term stability of miniscrew anchored maxillary molar distalization in Class II treatment (50)</b>	Évaluer la stabilité de la distalisation maxillaire sur mini-vis dans les malocclusions de classe II.	Une étude rétrospective comprenant un groupe de distalisation (n = 19) et un groupe témoin (n = 19).  Les TRP de 38 patients adultes ont été prises avant (T0), immédiatement après (T1), et 3-4 ans après (T2) le traitement. Les mouvements horizontaux et verticaux et le tip back des premières molaires maxillaires (U6) et des incisives centrales (U1) ont été mesurés ainsi que les paramètres squelettiques craniofaciaux aux trois moments différents afin de comparer les deux groupes en ce qui concerne les effets du traitement et leur stabilité	La distalisation a entraîné un recul de 4,2 mm de U6, tip back 0,6° et une inclinaison du plan d'occlusion de 3,3°. Sur une période de contention en moyenne de 42 mois, la distalisation de l'arcade maxillaire a permis une grande stabilité des résultats du traitement, montrant la même quantité de récurrence mésiale (0,7 mm) que le groupe témoin.	Superposition sur des Téléradiographie de profil (TRP).  La mécanique est un recul en masse de l'arcade maxillaire avec des mini vis vestibulaires entre 5 et 6 et une traction directe de la vis à une potence courte distale aux incisives latérales.

<p><b>Dental and skeletal effects after total arch distalization using modified C-palatal plate on hypo- and hyperdivergent Class II malocclusions in adolescents 2021(51)</b></p>	<p>Évaluer les effets dentaire et squelettiques lors d'un recul en masse de l'arcade à l'aide de plaques C-palatines modifiées (MCP) sur des patients adolescents classe II hypo- et hyperdivergente.</p>	<p>Le groupe comprenait 40 patients en classe II (18 garçons et 22 filles, âge moyen = 12,2 ± 1,4 ans) traités avec des MCP. Les participants ont été répartis en groupes hypo- ou hyperdivergents en fonction de leur angle du plan mandibulaire de Frankfort (FMA) pré-traitement <math>\leq 22^\circ</math> ou <math>\geq 28^\circ</math>, respectivement. Les TRP avant et après traitement ont été numérisées, et 23 variables ont été mesurées et comparées pour les deux groupes.</p>	<p>Les groupes hyper- et hypodivergents présentent un recul de U6 de 2,7 mm et 4,3 mm, respectivement (<math>P &lt; 0,001</math>). Le groupe hypodivergent présentait un léger tip back de U6 de 2,2°, contre 0,3° dans le groupe hyperdivergent.</p>	<p>Dispositif palatin Superposition sur des TRP.</p>
<p><b>Evaluation of the effects of the hybrid Pendulum in comparison with the conventional Pendulum appliance (52)</b></p>	<p>Évaluer le contrôle de l'ancrage et la distalisation des molaires maxillaires avec l'appareil hybride Pendulum et comparer les résultats avec un appareil Pendulum conventionnel.</p>	<p>Cette étude a été réalisée sur TRP et les moulages dentaires avant (T0) et après (T1) le traitement de 43 patients présentant des relations molaires de classe II d'Angle et traités avec des pendulum conventionnels ou hybrides. Le groupe Pendulum hybride (HP) était composé de 22 patients (14 femmes ; huit hommes ; âge moyen 14,3 ± 2,43 ans) et les résultats du traitement ont été comparés à ceux du groupe Pendulum conventionnel (CP), qui était composé de 21 patients (15 femmes ; six hommes ; âge moyen 14,6 ± 3,39 ans).</p>	<p>Les premières molaires maxillaires ont montré un recul de 4,25 mm et un tip back 9,09° dans le groupe HP, et de 3,21 mm et 9,86° dans le groupe CP. La perte d'ancrage au niveau des premières prémolaires était significativement plus faible dans le groupe de l'appareil HP par rapport au groupe CP. Les secondes prémolaires se sont distalées spontanément dans le groupe HP alors qu'elles se sont mésialisées de manière significative dans le groupe CP. La vestibulo-version et la vestibulo-position des incisives maxillaires étaient plus importantes avec l'appareil CP qu'avec l'appareil HP.</p>	<p>Dispositif palatin et superposition sur TRP.</p>



<p><b>Comparison of skeletal anchorage distalizers effect in maxillary buccal segment: A systematic review (53)</b></p>	<p>Évaluer et comparer l'effet de la distalisation maxillaire sur ancrage squelettique palatin (PSA) et le Zygoma Gear Appliance (ZGA)</p>	<p>La recherche systématique a été effectuée PubMed, ScienceDirect, AJO-DO et Scopus entre janvier 2007 et décembre 2017.</p>	<p>Un total de 357 publications scientifiques, articles, essais cliniques liés aux mots-clés utilisés ont été identifiés lors de la recherche. Treize articles répondaient aux critères d'inclusion. Le système PSA a présenté une distalisation des molaires maxillaires comprise entre 1,8 mm et 6 mm. Le système ZGA a présenté une distalisation des molaires comprise entre 4,37 mm et 5,31 mm.</p>	<p>Les ancrages sont positionnés en palatin ou en zygomatique.</p>
<p><b>Distal movement of maxillary molars using miniscrew anchorage in the buccal interradicular region (54)</b></p>	<p>Évaluer les effets du traitement par mini vis interradiculaire. Confirmer la validité de l'utilisation clinique des mini-vis interradiculaires dans le recul des molaires maxillaires dans les traitements sans extraction.</p>	<p>24 molaires maxillaires ont été reculées à l'aide de mini-vis placées en inter-radiculaire entre la U5 et U6. Les mouvements dentaires (recul , tip-back) ont été évalués à l'aide de TRP.</p>	<p>Les molaires maxillaires ont reculé de 2,8 mm avec un tip back de 4,8 degrés et une intrusion de 0,6 mm. Les incisives maxillaires ont reculé de 2,7 mm avec palato-version de 4,3 degrés.</p>	<p>Superposition sur TRP. La mécanique mise en place est un recul direct en masse avec un ressort niti sur une potence en distal des incisives latérales.</p>
<p><b>Comparison of two implant-supported molar distalization systems (55)</b></p>	<p>Examiner les effets squelettiques, dentaires et sur les tissus mous du système de distalisation sur mini-vis (MISDS) et des pendulum à appui osseux (BAPA).</p>	<p>28 patients présentant une classe II d'Angle. 14 patients traités par MISDS ont été inclus dans le premier groupe, et 14 patients traités par BAPA ont été inclus dans le second groupe. Les TRP avant et après traitement ont été analysées.</p>	<p>Pas de valeur métrique</p>	<p>Superposition sur TRP. Les mini vis sont positionnées dans les deux groupes en palatin</p>

<p><b>Comparison between direct vs indirect anchorage in two miniscrew-supported distalizing devices (56)</b></p>	<p>Comparer deux dispositifs de distalisation avec mini-vis palatines :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- le système MGBM (G.B Maino, A. Giannelly, R. Bernard, P. Mura)</li> <li>- le distal screw (DS), chez des patients de classe II.</li> </ul>	<p>Les TRP avant (T1) et après (T2) traitement de 53 sujets en classe II ont été examinées. Le MGBM concernait 29 patients (16 hommes, 13 femmes) d'âge moyen avant traitement de <math>12,3 \pm 1,5</math> ans ; le DS concernait 24 patients (11 hommes, 13 femmes) d'âge moyen avant traitement de <math>11,3 \pm 1,2</math> ans. Le temps moyen de distalisation était de <math>6 \pm 2</math> mois pour le MGBM et de <math>9 \pm 2</math> mois pour le DS.</p>	<p>Les superpositions maxillaires ont montré que la première molaire maxillaire s'est distalée en moyenne de 5,5 mm dans le MGBM et de 3,2 mm dans le DS entre T1 et T2 ; le tip back de la molaire était plus important dans le MGBM (<math>10,3^\circ</math>) que dans le DS (<math>3,0^\circ</math>). La première prémolaire a montré un mouvement mésial moyen de 1,4 mm, avec une inclinaison mésiale de <math>4,4^\circ</math> dans le MGBM ; au contraire, la première prémolaire a montré un mouvement distal de 2,2 mm, avec une inclinaison distale de <math>6,2^\circ</math>, dans la DS.</p>	<p>Les mini vis sont positionnées en palatin avec les deux systèmes : MGBM et distal screw.</p> <p>Les superpositions sont réalisées sur les TRP.</p>
<p><b>Treatment effects after maxillary total arch distalization using a modified C-palatal plate in patients with Class II malocclusion with sinus pneumatization(57)</b></p>	<p>L'objectif de cette étude était d'évaluer les effets du traitement après distalisation molaire sur MCPP chez des patients en classe II avec pneumatisation du sinus maxillaire.</p>	<p>Cette étude sur 70 TRP de 35 patients présentant une malocclusion de classe II (âge moyen de <math>22,3 \pm 7,4</math> ans) ayant subi une distalisation molaire maxillaire sur MCPP. Les échantillons ont été divisés en 2 groupes selon la pneumatisation du sinus :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- groupe 1 (n = 40), avec pneumatisation du sinus</li> <li>- groupe 2 (n = 30) sans pneumatisation du sinus.</li> </ul>	<p>Le recul de U6 est de 4,3 mm pour le groupe 1 et de 3,5 mm pour le groupe 2, avec une intrusion de 1,4 mm et de 2,5 mm, respectivement. Il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les 2 groupes. Le groupe 1 présentait un tip back des U7 de <math>3,5^\circ</math>, ce qui était significativement plus important que les <math>0,2^\circ</math> du groupe 2 (P &lt; 0,05).</p>	<p>Minis vis positionnées en palatin.</p> <p>Superposition sur TRP.</p>

<p><b>Comparison of treatment effects between the modified C-palatal plate and cervical pull headgear for total arch distalization in adults(58)</b></p>	<p>Évaluer les effets dentaires et squelettiques du recul en masse avec le MCPP chez des patients adultes présentant une malocclusion de classe II et comparer les résultats avec ceux d'un headgear.</p>	<p>L'échantillon est constitué des TRP de 44 patients adultes présentant une malocclusion de classe II division 1, dont 22 ont reçu un traitement par MCPP (âge, 24,7 ± 7,7 ans) et 22 ont reçu un traitement par headgear (âge, 23,0 ± 7,7 ans). Les TRP avant (T1) et après (T2) le traitement ont été analysées sur 24 mesures linéaires et angulaires.</p>	<p>Le recul de U6 est de 4,2 mm - 3,5 mm et le tip back de U6 est de 3,9° dans le groupe MCPP, et de 2,3 mm - 0,6 mm et 8,6° dans le groupe portant un headgear. Une intrusion de 2,5 mm a été observée dans le groupe MCPP.</p>	<p>Minis vis positionnées en palatin. Superposition sur TRP.</p>
<p><b>Efficiency of a skeletonized distal jet appliance supported by miniscrew anchorage for noncompliance maxillary molar distalization(59)</b></p>	<p>Les objectifs de cette étude étaient d'examiner la pertinence du jet distal sur appui squelettique pour la distalisation molaire et de vérifier la qualité de l'ancrage.</p>	<p>Deux mini-vis paramédianes (longueur, 8-9 mm ; diamètre, 1,6 mm) ont été placées dans la zone antérieure du palais sur 10 patients. Le distal jet à appui squelettique, fixé avec du composite sur les premières prémolaires et sur le col des mini-vis, activé avec une force de distalisation de 200 cN de chaque côté.</p>	<p>Une distalisation molaire (3,92 +/- 0,53 mm) avec une légère rotation mésiale (en moyenne, 8,35 degrés +/- 7,66 degrés). Une perte d'ancrage significative, sous la forme d'une mésialisation de la première prémolaire de 0,72 +/- 0,78 mm, a été constatée</p>	<p>Minis vis positionnées en palatin.</p>
<p><b>Comparison of Treatment Effects with Modified C-Palatal Plates vs</b></p>	<p>L'objectif de l'étude était d'évaluer les effets squelettiques et tissulaires ainsi que le degré de</p>	<p>L'échantillon est constitué de TRP pré et post-traitement de 39 patients présentant une classe II. Le groupe MCPP était composé</p>	<p>Le recul de U6 obtenu est de 3,96 mm dans le groupe MCPP contre 2,85 mm dans le groupe GMD. Les deux groupes ont montré un tip back</p>	<p>Minis vis positionnées en palatin. Greenfield :</p>

<b>Greenfield Molar Distalizer Appliances in Adolescents (60)</b>	distalisation des molaires maxillaires par MCPD par rapport à l'appareil de distalisation des molaires Greenfield chez les adolescents.	de 21 patients, le groupe GMD de 18.	minime, mais les incisives maxillaires étaient significativement extrudées de $3,04 \pm 0,89$ mm dans le groupe GMD.	appareil sans mini vis avec pastille palatine et ressort vestibulaire. Sur TRP.
<b>Efficiency of maxillary total arch distalization using temporary anchorage devices (TADs) for treatment of Class II-malocclusions: A systematic review and meta-analysis (1)</b>	Évaluer les effets du traitement et la stabilité post-traitement de la distalisation en masse de l'arcade maxillaire à l'aide de mini-vis, lors de traitement sans extraction des classe II.	L'extraction des données, l'évaluation du risque de biais ont été réalisés. Puis une méta-analyse a été réalisée pour évaluer les changements dentaires, squelettiques et tissulaires. 1788 articles identifiés 88 textes complets examinés 22 études éligibles 17 incluses dans l'analyse quantitative.	Les moyennes de recul/tip back de U6 étaient de $4\text{mm}/3,17^\circ$ chez les adultes, de $3,95\text{mm}/1,61^\circ$ chez les adolescents après traitement avec MCPD, alors qu'elles étaient de $2,44\text{mm}/2,91^\circ$ avec les mini-vis inter-radicaux. Le traitement par MCPD chez les adultes et les mini-vis inter-radicaux ont entraîné une intrusion significative de U6 ( $1,64$ et $0,75$ mm, respectivement), tandis qu'une extrusion non significative de U6 a été observée chez les adolescents traités par MCPD. Les appareils MCPD ont entraîné une palatoversion et une extrusion des incisives maxillaires U1 ( $6,77^\circ/2\text{mm}$ chez les adultes, $7,46^\circ/3,14\text{mm}$ chez les adolescents). En revanche, les mini-vis inter-radicaux ont entraîné une palatoversion et une intrusion non significative de U1 ( $2,42^\circ/0,14\text{mm}$ ).	Recul en masse avec des ancrages en palatin et en vestibulaire. 14 sur TRP 6 sur CBCT 2 sur modèle.
<b>A comparison of treatment effects of total arch distalization using modified C-palatal</b>	L'objectif de cette étude était de comparer les effets du traitement par mini-vis placées en palatin et en vestibulaire.	Sur 40 patients de classe II.1, 22 ont été traités avec (MCPD) et 18 avec des mini-vis placées en vestibulaire U6 et U5. Un total de	Avec le MCPD on a un recul de $4,2$ mm, une intrusion de $1,6$ mm de U6 avec un tipback de $2^\circ$ et une extrusion des incisives de $0,8\text{mm}$ . Avec les mini-vis vestibulaire on obtient un	Recul en masse avec MCPD et <b>en vestibulaire en direct avec crochet sur les</b>

<b>plate vs buccal miniscrews (61)</b>		26 mesures linéaires et angulaires ont été analysées sur les TRP.	recul de 2,0 mm, une intrusion de 0,1 mm de la première molaire avec un tip back de 7,2° et une extrusion de 0,3 mm des incisives.	<b>canines.</b> superposition sur TRP
<b>Distal movement of maxillary molars in nongrowing patients with the skeletal anchorage system(62)</b>	Les objectifs de cette étude étaient d'examiner la quantité de recul des premières molaires maxillaires, le type de mouvement, la différence entre les quantités réelles et prédites de distalisation, et la relation entre la quantité de distalisation et l'âge.	Les sujets de cette étude étaient 55 patients (22 femmes, 3 hommes) hors croissance traités avec des ancrages. La quantité et le type de distalisation, la différence entre les quantités de distalisation prévues et obtenues, et la relation entre l'âge du patient et la quantité de distalisation ont été analysés à l'aide de TRP	Le quantité moyenne de distalisation des premières molaires maxillaires était de 3,78 mm au niveau de la couronne et de 3,20 mm au niveau de la racine. La quantité de distalisation au niveau de la couronne était significativement corrélée avec la valeur moyenne des objectifs de traitement (3,60 mm).	Utilisation de plaque d'ancrage. Et d'un système de recul direct avec chaînette sur la canine. Superposition sur TRP.
<b>Total arch maxillary distalization using infrazygomatic crest miniscrews in the treatment of Class II malocclusion: a prospective study(63)</b>	Évaluer les effets du traitement chez les patients de classe II en utilisant des mini-vis sur la crête infrazygomatique (IZC).	Un échantillon de 25 adolescents ayant reçu un traitement de recul maxillaire avec des ancrage infrazygomatique a été recruté. Des TRP et des modèles numériques au début du traitement (T1) et après la correction des molaires de classe II (T2) ont été obtenus.	Tous les patients ont obtenu une correction molaire de classe II sur une période de $7,7 \pm 2,5$ mois. Le traitement a permis un recul de 4 mm, 1,2 mm d'intrusion de U6, un tipback de 11,2°. Les incisives maxillaires on reculées 4,7 mm lingualé de 13,4°. L'overjet et la supraclusion ont montré une réduction de 3,6 mm et 2,4 mm, respectivement.	Les mini vis sont placées en vestibulaire et utilisées en traction directe. Superposition sur TRP
<b>Maxillary molar distalization in treatment of angle class II</b>	Évaluer les effets et l'efficacité clinique d'une technique vestibulaire simple de distalisation des	Un échantillon de 14 patients en classe II (âgées de 11 à 14 ans). La distalisation de la molaire maxillaire a été effectuée à l'aide	U6 recul de $4,09 \pm 0,92$ mm (IC 3,68-4,50) ( $P < 0,001$ ). Tipback de $2,48^\circ \pm 6,16$ (IC -0,26-5,21) ( $P = 0,073$ ) Rotation distopalatine de U6 de	Les mini vis sont placées entre 5 et 6 et un ressort niti est activé entre la

<p><b>malocclusion growing patients: Uncontrolled clinical trial (64)</b></p>	<p>molaires maxillaires utilisant des mini-vis vestibulaire en direct.</p>	<p>d'une force de 250g produite par un ressort NiTi fermé, tendu sur une mini-vis vestibulaire. Des radiographies TRP et des moulages d'étude ont été pris pour tous les patients avant et après le recul des molaires. Une évaluation statistique a été effectuée pour les données obtenues à partir de l'analyse du tracé céphalométrique et du moulage.</p>	<p>11,89°±5,8 une intrusion de U6 de 0,11±0,63mm (IC -0,40-0,17) (P=0,411). Aucune perte d'ancrage n'a été mise en évidence par le mouvement distal de toutes les dents maxillaires (P&lt;0,001). L'overjet a été réduit de façon significative de 0,86±0,50 (CI 0,52-1,20) (P=0,004).</p>	<p>vis et une potence distal canine (traction directe). Les superpositions sont réalisées sur TRP et moulages.</p>
<p><b>Are orthodontic distalizers reinforced with the temporary skeletal anchorage devices effective (65)</b></p>	<p>Réaliser une revue systématique des études relatives à la distalisation des dents avec des appareils renforcés par mini-vis.</p>	<p>PubMed, Embase, Cochrane Central Register of Controlled Trials, Web of Knowledge, Ovid et Scopus jusqu'à la deuxième semaine d'août 2010 afin d'identifier tous les articles traitant de l'utilisation d'implants orthodontiques ou de miniplaques dans la distalisation des dents. La qualité des études pertinentes a été classée sur une échelle de 11 points, de faible à élevée.</p>	<p>12 articles Le recul des U6 était de 3,3 à 6,4 mm ; le tip back U6 était de 0,80° à 12,20°. Les incisives maxillaires sont restées stables pendant la distalisation des molaires. L'évaluation de la qualité des études a montré que 8 études étaient de faible qualité et 4 de qualité moyenne.</p>	<p>les vis sont positionnées sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la suture médiane dans la région antérieure du palais dur dans 9 études (153 sujets),</li> <li>- la crête infrazygomatique dans 2 études.</li> <li>- la mandibule dans 1 étude .</li> </ul>

<p><b>Comparative evaluation of molar distalization therapy using pendulum and distal screw appliances(66)</b></p>	<p>Comparer les changements dentoalvéolaires et squelettiques produits par pendulum (PA) et par le recul sur vis par distal screw (DS) chez des patients de classe II.</p>	<p>43 patients (19 hommes, 24 femmes) en classe II . 24 patients ont été traités avec le recul molaire sur mini-vis. Le temps moyen de distalisation était de 7 mois pour le groupe pendulum et de 9 mois pour le groupe vis. Des TRP ont été réalisées à T1, avant le traitement, et à T2, à la fin de la distalisation.</p>	<p>Recul de U6 de 4,7 mm pour PA et 4,2 mmpour DS. U6 ont montré moins de tipback dans le groupe vis que dans le groupe pendulum (3,2° contre 9,0°, respectivement). De plus, une perte d'ancrage significative des prémolaires (2,7 mm) et une vestibulo-version des incisives (5,0°) ont été notées dans le groupe pendulum, alors qu'un mouvement distal des prémolaires (1,9 mm) et aucun changement significatif au niveau de l'incisive (0,1°) n'ont été observés dans le groupe mini-vis.</p>	<p>Les ancrages sont positionnés en palatin. Superposition sur TRP.</p>
<p><b>Evaluation of Dentoalveolar and Dentofacial Effects of a Mini-Screw-Anchored Pendulum Appliance in Maxillary Molar Distalization (67)</b></p>	<p>Évaluer les effets dentoalvéolaires et dentofaciaux d'un pendulum avec mini-vis dans la distalisation des molaires maxillaires.</p>	<p>20 patients en classe II d'Angle (âge moyen 14,05±2,4 ans) ont été traités avec un pendulum sur mini-vis pour le recul molaires. Une mini-vis de 1,9 mm de diamètre et de 9 mm de longueur a été utilisée pour soutenir le pendulum. Les ressorts du pendulum étaient activés à 90° et exerçaient une force de 250-300 gr par côté. Des TRP et des moulages dentaires ont été obtenus pour tous les patients avant et après la distalisation des molaires maxillaires.</p>	<p>Une augmentation de 0,6° de SNA et SNB, et une diminution de 0,3° de l'angle SN/GoGn ont été jugées statistiquement significatives. Recul de U6 de 4,2 mm, une intrusion significative de 0,6 mm et un tip back de 8,9° ont été observés. La dérive distale spontanée des secondes prémolaires maxillaires s'est avérée statistiquement significative. En ce qui concerne les positions des premières prémolaires et des incisives maxillaires, une mésialisation significative a été observée ; cependant, les changements dans les valeurs angulaire de ces dents se sont avérés non significative.</p>	<p>Une mini vis palatine antérieure est positionnée pour supporter un pendulum. Superpositions sur TRP et moulages.</p>

<p><b>Dental and skeletal effects after total arch distalization using modified C-palatal plate on hypo- and hyperdivergent Class II malocclusions in adolescents(51)</b></p>	<p>Comparer les effets dentaires et squelettiques après une distalisation en masse à l'aide de plaques C-palatines modifiées (MCP) chez des patients adolescents présentant une malocclusion de classe II hypo- et hyperdivergente.</p>	<p>40 patients en classe II (18 garçons et 22 filles, âge moyen = <math>12,2 \pm 1,4</math> ans) traités par MCP. Le traitement orthodontique a commencé par le processus de distalisation dans les deux groupes. Les participants ont été répartis en groupes hypo- ou hyperdivergents en fonction de leur angle du plan mandibulaire de Frankfort (FMA) pré-traitement <math>\leq 22^\circ</math> ou <math>\geq 28^\circ</math>, respectivement. Les TRP avant et après traitement ont été numérisés, et 23 variables ont été mesurées et comparées pour les deux groupes.</p>	<p>Dans les deux groupes ont a un recul de U6 de 2,7 mm hypodivergent et 4,3 mm, hyper-divergent (<math>P &lt; .001</math>). Le groupe hypodivergent présentait un léger tipback de la couronne des U6 de <math>2,2^\circ</math>, contre <math>0,3^\circ</math> dans le groupe hyperdivergent. Après la distalisation, le FMA a augmenté de <math>3,1^\circ</math> et de <math>0,3^\circ</math>, respectivement dans les groupes hypodivergent et hyperdivergent (<math>P &lt; 0,001</math>). Le SNA a diminué dans le groupe hypodivergent, tandis que les autres variables squelettiques n'ont montré aucune différence statistiquement significative entre les groupes.</p>	<p>Plaque au niveau palatin postérieur. Superpositions réalisées sur TRP.</p>
<p><b>Maxillary molar distalization with MGBM-system in class II malocclusion (68)</b></p>	<p>Évaluer les effets du système MGBM (G.B Maino, A. Giannelly, R. Bernard, P. Mura), un nouveau dispositif intra-oral pour traiter la malocclusion de classe II.</p>	<p>Une étude rétrospective a été menée pour comparer les TRP et les modèles avant et après la distalisation sur 30 patients (15 hommes, 15 femmes) présentant une classe II et traités avec le système MGBM.</p>	<p>Une distalisation rapide des molaires et une correction de la classe II a été obtenue en 8 mois <math>\pm 2,05</math>, en moyenne. U6 a reculé de 4,14 mm et tip-back de <math>10.5^\circ</math> et une intrusion significative de 1,3 mm. Quant à la perte d'ancrage, la première prémolaire a présenté un mouvement mésial significatif de 0,86 mm, associé à une vestibulo-version significative de <math>2,46^\circ</math>. Aucun changement significatif de la relation squelettique sagittale ou verticale n'a été observé.</p>	<p>Deux ancrages palatins sont positionnés. Superposition sur TRP.</p>



<p><b>Three-dimensional analysis of the distal movement of maxillary 1st molars in patients fitted with mini-implant-aided trans-palatal arches (69)</b></p>	<p>Étudier les mouvements tridimensionnels des molaires après une distalisation par mini-vis et arc trans-palatin (ATP).</p>	<p>26 patients de classe II sont inclus.</p> <p>Des ancrages palatin entre U6 et U5, associé à des chaînettes reliés à l'ATP exerçant une force moyenne de 150-200 g/parallèle au plan occlusal ont été appliqués. Un CBCT a été réalisé pour évaluer la position des mini-vis par rapport aux dents adjacentes et au sinus maxillaire, ainsi que la direction de la force par rapport à la furcation des molaires. Les distances entre le point central de la papille buccoïde et les cuspides mésiopalatines de U6 et les distances entre les cuspides mésiopalatines des U6 gauche et droite ont été mesurées pour évaluer le déplacement des molaires maxillaires sur le plan horizontal.</p>	<p>La distalisation moyenne de U6 était de <math>2,3 \pm 1,1</math> mm, à une vitesse de <math>0,4 \pm 0,2</math> mm/mois, et la rotation n'était pas significative. La largeur intermolaires a augmenté de <math>2,9 \pm 1,8</math> mm.</p> <p>Une intrusion de U6 de 0,1 à 0,8 mm a été observé.</p>	<p>Deux ancrages palatins sont positionnés. Superposition sur CBCT.</p>
--	--	---	--	---

Figure 17 : Résultats de chaque étude

### c. Synthèse des résultats

Nous avons pu mettre en évidence que ce genre d'étude d'analyse tridimensionnelle est réalisée communément pour chaque nouvelle technique.

Dans ces différents articles, nous avons recherché si la technique de recul indirect a fait l'objet d'une analyse tridimensionnelle. Comme le montrent les résultats de la revue de littérature, il n'y a aucune étude mettant en évidence les mouvements tridimensionnels en technique de recul indirect.

Nous pouvons mettre en évidence que parmi ces études :

- 21 ont traité des ancrages palatins avec différents outils tels que le Distal-Jet, des pendulum renforcés par un appui osseux, et des ancrages palatins seuls.
- 3 ont traité des mini-vis positionnées en infrazygomatique.
- 8 ont traité des ancrages vestibulaires mais avec traction directe.

De plus, nous avons pu remarquer que les modalités de superposition varient en fonction des auteurs. Dans la grande majorité des études, nous retrouvons des superpositions sur des TRP en majorité, quelques superpositions sur modèles digitaux et CBCT. Nous avons donc cherché les différentes techniques de superposition et leurs évolutions.

## **II. Méthodes de superposition usuelles**

Les superpositions pré et post-traitements sont d'excellents outils d'évaluation des différentes modifications (tissu dur, tissu mou, matériel dentaire) lors d'un traitement d'orthodontie.

### **1. Superposition radiologique**

Conventionnellement, les superpositions utilisées lors des traitements orthodontiques sont réalisées sur les téléradiographies de profil. Cependant, avec ces techniques de superposition des erreurs sont à noter.

Tout d'abord, l'utilisation d'une téléradiographie de profil entraîne des difficultés d'identification des points de repère par superposition des structures anatomiques. Les changements de posture de la tête, le grossissement et les distorsions géométriques peuvent être des facteurs de confusion.(40) La sélection des structures de référence stables pour superposer les téléradiographies est délicate. Une téléradiographie de profil n'est qu'une projection bidimensionnelle (2D) d'une structure tridimensionnelle (3D) et ne peut donc pas être utilisée pour évaluer le mouvement orthodontique des dents dans trois directions.(40)

Des méthodes de superposition sur CBCT ont vu le jour. Elles permettent d'obtenir des données en taille 1:1 des différentes structures anatomiques en trois dimensions.

Une revue systématique publiée par Ponce-Garcia en 2018 sur les superpositions sur CBCT a mis en évidence que de nombreuses méthodes de superposition sur CBCT existent et semblent toutes offrir un niveau de fiabilité suffisant.(70)

D'après les dernières recommandations de la FFO ( Fédération Française d'Orthodontie) (71) de 2017, le CBCT ne saurait être recommandé en analyse céphalométrique de routine actuellement. Uniquement les cas ortho-chirurgicaux auront une indication de réalisation de CBCT. D'après une revue systématique publiée en 2019 par De Grauwe (72), le CBCT n'est justifié que dans les cas où les radiographies conventionnelles type orthopantomogramme et téléradiographie de profil ne permettent pas de poser un diagnostic.

Pour pallier les limites de la radiologie, actuellement, les superpositions se réalisent sur modèles numériques.

## 2. Superposition sur modèles

### A. Modèle numérique : un outil fiable

En orthodontie, les nouvelles technologies sont en constante et rapide évolution. En comparaison avec les modèles en plâtre, les modèles dentaires numériques présentent de nombreux avantages, tels que le stockage, la récupération, la transférabilité, la durabilité, la communication, le diagnostic à distance et l'évaluation des résultats du traitement. (40)

Une revue systématique publiée en 2011 par Fleming et al. (73) avait pour but d'évaluer la validité des modèles conventionnels scannés par rapport aux modèles conventionnels. Les critères d'évaluation étaient la taille des dents, la longueur d'arcade, la largeur d'arcade, l'encombrement. Cette étude a permis de conclure que les mesures sur les scans de modèles conventionnels sont aussi fiables que les mesures sur les modèles conventionnels.

Une revue systématique publiée en 2015 par De Luca Canto et al. (74) a montré qu'il n'y avait pas de différence significative des mesures intra-arcade entre les modèles conventionnels scannés par rapport aux modèles conventionnels. De plus Aragon a montré en 2016 (75) que les modèles digitaux sont aussi fiables.

Une revue de la littérature a été publiée en 2020 par Kihara et al.(76) dans le but d'évaluer la précision et l'aspect pratique des scanners intra-oraux. Concernant la précision, on observe que l'on élimine toutes les erreurs de fabrication liées à la distorsion du matériau d'empreinte, à l'expansion ou à la contraction du plâtre, et au stockage des empreintes conventionnelles. Dans cette étude les scanner intra-oraux sont réputés fiables à 50 microns de résolution spatiale.

Une étude publiée en 2018 par Sfondrini et al. (77) a évalué le temps total d'exécution d'une empreinte optique par rapport à une empreinte alginate. Une réduction du temps clinique total est observée avec les scanners intra-oraux (5minutes 49 secondes) par rapport à l'empreinte conventionnelle (22minutes 6 secondes). Ce temps comprend le temps au fauteuil et le traitement de l'empreinte.

Nous pouvons donc établir que le scanner intra-oral est un outil fiable, précis, reproductible et pratique. Cependant, il est nécessaire de trouver des repères fiables sur ces modèles. Parmi ceux utilisés nous retrouvons les rugae.

## B. Les rugae : un repère fiable

### a. Définition

Les rugae palatines sont des crêtes asymétriques et irrégulières de tissu conjonctif situées en arrière de la papille rétro-incisive au niveau du palais dur. Elles s'étendent de la zone antérieure du palais à la face mésiale de la première molaire permanente sans jamais croiser le raphé médian. Les rugae sont formées dès le 3ème mois in utero et maintiennent leur forme grâce à leur haute concentration en glycosaminoglycanes.

L'induction de leur développement est liée aux interactions épithéliales-mésenchymateuses lors de la palatogenèse. Leur séquence d'apparition s'initie dans la région postérieure et médiane. Elles se développent ensuite vers l'avant et latéralement.

### b. Histologie

En 1987 Peterkova et al. réalisent une étude histologique des rugae palatines chez les souris.(78)

Ils décrivent trois grands stades de formation des rugae :

- La « rugal anlage » : épaissement épithélial non protrusif enfoui dans le mésenchyme
- La « primitive ruga » : bande de tissu épithélial orientée transversalement sur la surface du palais
- La « définitive ruga » : bande de tissu conjonctif recouverte de tissu épithélial orientée transversalement

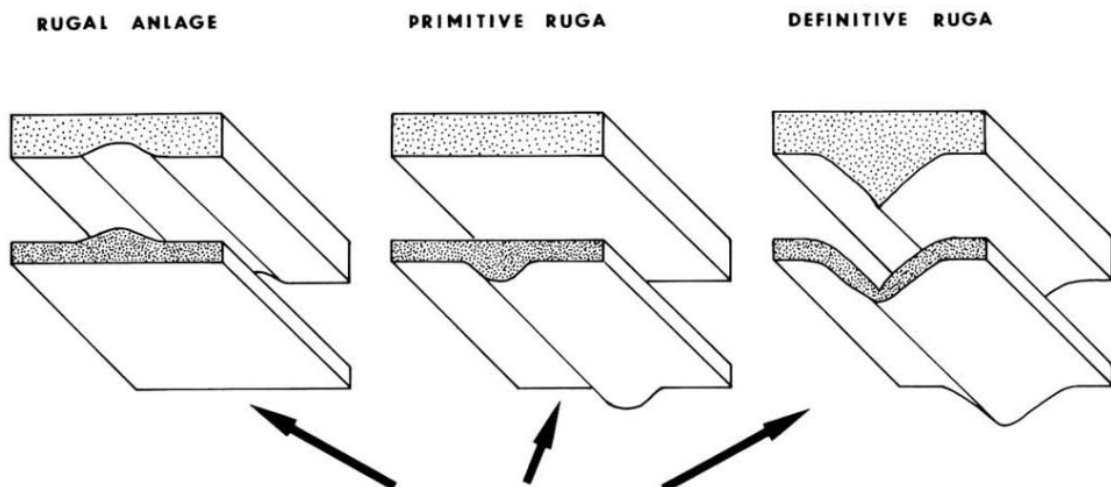


Figure 18 : Stades de formation des rugae (Peterkova et al. 1987.)

Sur des coupes histologiques les auteurs ont pu mettre en évidence les étapes de développement et la composition d'une rugae (78) :


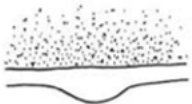


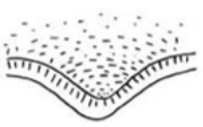
	<p>I : Épaississement épithélial enfoui dans le mésenchyme.</p>
	<p>II : Nivellement de la membrane basale et protrusion de l'épaississement épithélial, condensation de cellules mésenchymateuses.</p>
	<p>III : Cellules épithéliales et mésenchymateuses orientées selon des lignes. (champs magnétiques)</p>
	<p>IV : Formation du noyau de stroma fibreux, migration orale du mésenchyme et affinement de l'épithélium de surface. Épaississement des rugae.</p>
	<p>V : Crête de tissu conjonctif proéminente recouverte d'un épithélium de surface d'épaisseur similaire aux régions inter-rugae. La kératinisation de surface est présente sur les rugae et les zones inter-rugae.</p>

Figure 19 : Développement des rugae (Peterkova et al. 1987)

Physiologiquement, elles trouvent leur fonction dans la déglutition orale en établissant une relation entre les aliments et les récepteurs gustatifs de la face dorsale de la langue. Elles sont aussi réputées chez l'enfant pour favoriser la diction et la succion en permettant une localisation tactile de la langue (79,80)

### c. Aspect médico-légal : apport des rugae

Les sciences légales ont pour objectif de déterminer l'identité d'un individu. Les techniques les plus connues sont l'utilisation de l'ADN, des empreintes digitales ou encore des dents. Cependant, on retrouve dans la littérature et en pratique l'utilisation des rugae palatines en tant que marqueur individuel unique.

Cette technique trouve son intérêt chez les patients édentés complets ou les empreintes digitales ne sont pas exploitables (corps brûlés ou en décomposition).(79)

### d. Superpositions sur les rugae

Avec l'essor du numérique et les perfectionnements des scanner intra-oraux, les superpositions sur modèles numériques sont au centre des recherches actuelles.

Une étude a été publiée en 2017 par Vasikilos et al. (81) dans le but de comparer les différentes zones de superpositions au niveau du palais. On retrouve comme repères fiables et reproductibles :

- La zone a (2/3 médian de la troisième rugae)
- la zone b ( la troisième rugae et le raphé médian)

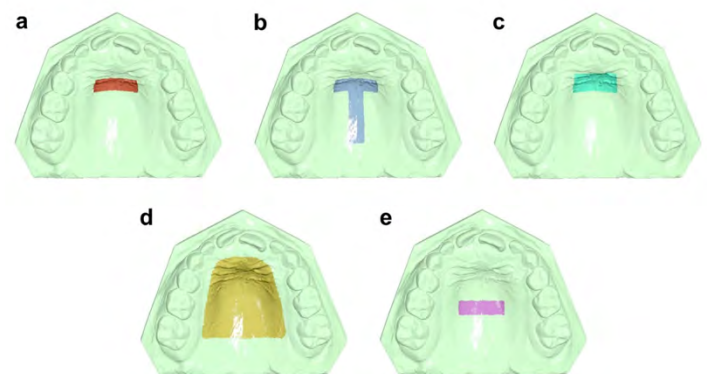


Figure 20 : Zones de superpositions étudiées.(Vasikilos et al. 2017)

Une étude a été publiée en 2019 par Pan et al. (82) dans le but de comparer la différence de fiabilité et de reproductibilité des superpositions sur modèle numérique versus sur un CBCT. On retrouve que la superposition sur modèle numérique est fiable pour évaluer un mouvement dentaire avec une fiabilité légèrement inférieure à celle des superpositions sur CBCT (0,3mm et 0,2° de variation). Cependant les acquisitions sont exemptes d'irradiation et peuvent être réalisées à tout moment du traitement.

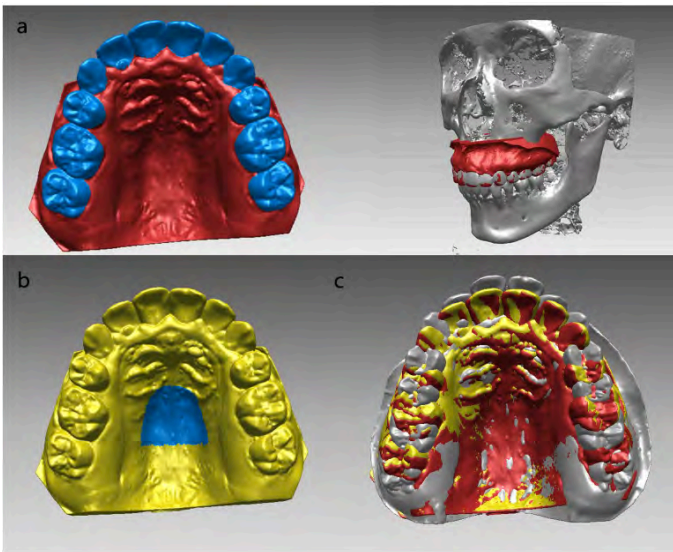


Figure 22 : (a) Superposition de l'acquisition 3D sur le CBCT (b); Voute palatine point de référence de superposition des acquisitions 3D (c); Superposition du modèle initiale, du CBCT de fin de traitement et de l'acquisition de fin de traitement (Pan et al. 2019)

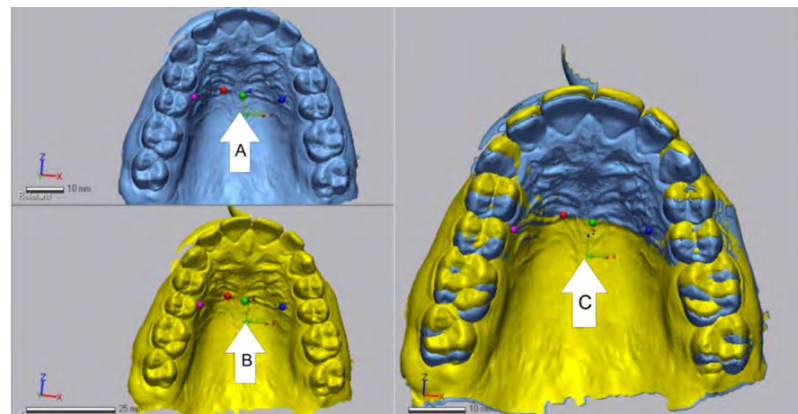


Figure 21 : (a) modèle de départ avec 4 points marqués sur les rugae, (b) set up avec 4 points marqués sur les rugae (c) Superpositions sur les rugae (Pazera et al. 2020)

Une étude rétrospective a été publiée en 2020 par Pazera et al. (83) avec pour objectif d'évaluer la position des rugae pendant le traitement d'orthodontie sur les patients en croissance.

On retrouve que :

- la position des incisives fait varier la papille et la première rugae dans le sens vertical (ingression de 1mm).
- la deuxième et la troisième rugae restent stables.

Une étude de Camcı et al.(84) publiée en 2021, a pour objectif de comparer la validité de la superposition sur les rugae (LB landmark based) par rapport à la méthode du « local best fit» soit le maximum de surface de corrélation.

On retrouve que :



- la superposition LB varie en fonction de l'angulation des incisives mais que cette variation est de l'ordre du micron et n'affecte pas la mesure des déplacements dentaires.
- les deux méthodes de superpositions semblent valides pour évaluer les mouvements dentaires.

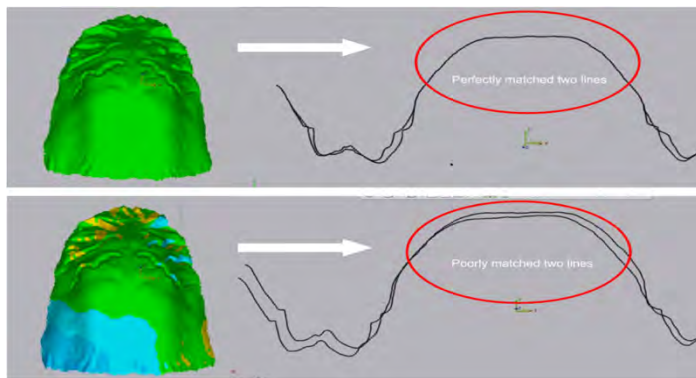


Figure 24 : (haut) marquage sur les LBF (bas) marquage sur LB (Camci et al. 2021)

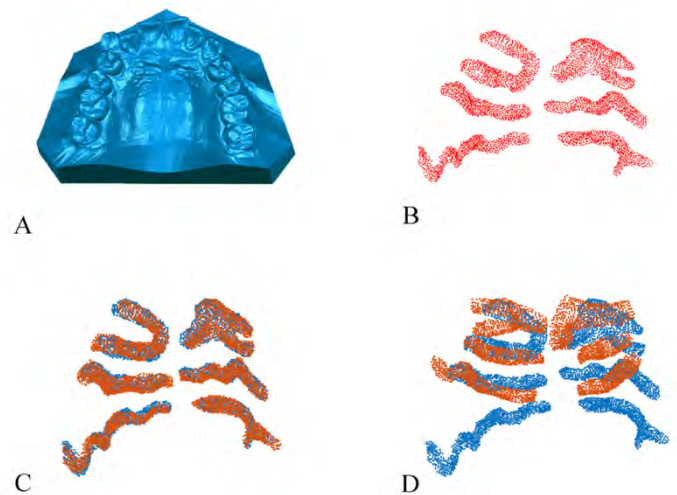


Figure 23 : (a) Modèle digital (b) Nuage de points des rugae sur le modèle avant traitement (c) Superposition intra-individuelle avant et après traitement (d) Superposition inter-individuelles avant et après traitement (Zhao et al. 2022)

Une étude cas-témoins a été publiée en 2022 par Zhao et al. (85) avec pour but d'évaluer la stabilité des rugae. Dans cette étude, trois groupes distincts sont évalués :

- un groupe sans traitement
- un groupe traité sans extraction
- un groupe traité avec des extractions

Des nuages de points sont établis sur les rugae sur le modèle pré-traitement et le modèle post traitement. La superposition est réalisée sur les nuages de points avec pour objectif de garder la même disposition des points entre eux.

Il en ressort qu'avec cette méthode :

- Sans extraction : les trois rugae sont stables, donc utilisables pour superposer
- Avec extraction : la première rugae n'est pas stable (rétraction incisive), la superposition se fait donc seulement sur la seconde et la troisième rugae

Nous pouvons retenir que les superpositions sur la troisième rugae sont les plus stables, et ce, quelle que soit la méthode utilisée. Une fois les modèles superposés sur un repère fiable nous pouvons analyser les déplacements dentaires.

#### e. Analyse des mouvements dentaires

Pour analyser les mouvements dentaires nous avons retrouvé dans la littérature plusieurs méthodes : avec repères unique ou multiples.

##### i. Repère unique

Dans l'étude de Ali et al. publiée en 2016, (86) les auteurs ont utilisé comme seul point de repère le FA (facial-axis point).

Le point FA a été défini comme le point central de la couronne clinique des dents, point où nous collons nos attaches orthodontiques.

À partir de chacun des points FA placés sur les dents ils ont défini un système en trois dimensions (X-axis, Z-axis, Y-axis).

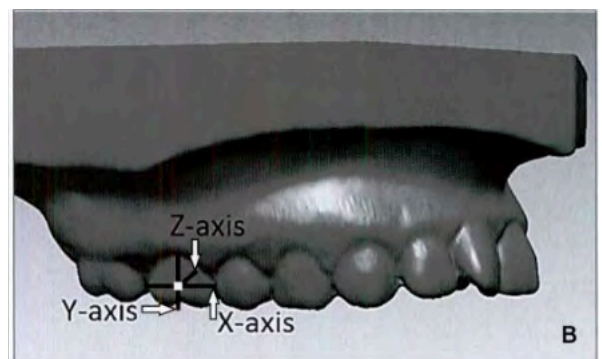


Figure 25 : Facial axis point, système 3D (Ali et al. 2016)

Ils ont également défini les trois plans de l'espace sur l'arcade maxillaire :

- le plan horizontal
- le plan coronal
- le plan sagittal

L'intersection de ces 3 plans représentant le point Origin  $X,Y,Z=0,0,0$ .

Ils ont ainsi pu définir les différents déplacements antéro-postérieurs, verticaux et les rotations.

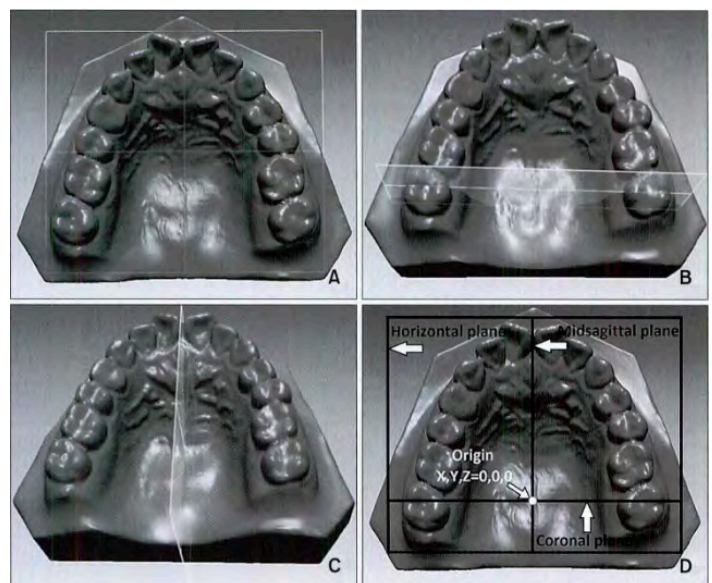


Figure 26: Définition des différents plans de références (Ali et al. 2016)

## ii. Points multiples

Une autre méthode est retrouvée dans la littérature avec l'utilisation de plusieurs points, notamment dans l'étude de Pan et al. parue en 2020. (87)

En premier lieu un système de coordonnées sur le modèle T1 a été créé avec :

- un plan horizontal défini comme le plan occlusal fonctionnel. Il est construit à partir des cuspidés des premières prémolaires, secondes prémolaires et premières molaires maxillaires bilatérales, à l'exception de la cuspide distal-linguale de U6.
- deux points ont été marqués sur la suture palatine (point A, B) et les projections de A, B sur le plan horizontal ont été marquées comme A' et B'. B' a été défini comme l'origine, et B'A' comme l'axe X, et B'B l'axe Y.
- AA'BB' compose le plan sagittal.

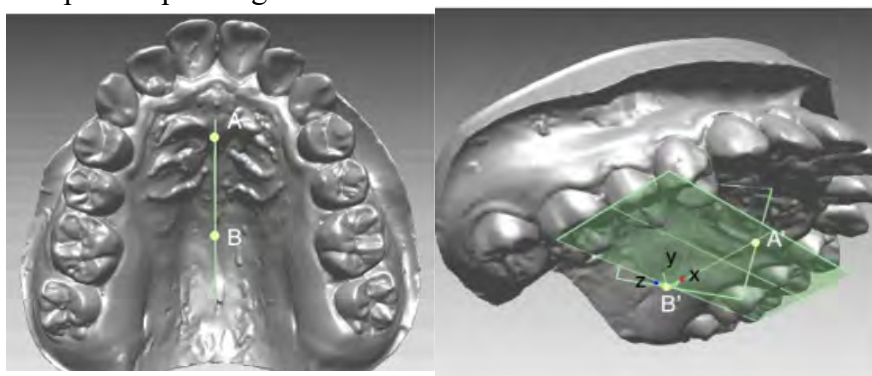


Figure 27 : Système de coordonnées sur T1(Pan et al. 2020)

En suivant, sur chacune des dents, des points de repère sont positionnés sur le modèle T1.

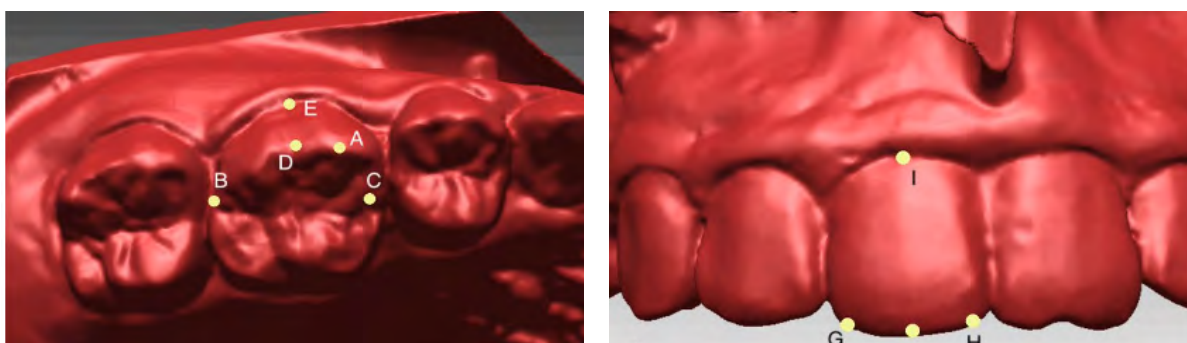


Figure 28 : Points de repère U6 et U1 (Pan et al. 2020)

Le modèle T2 est ainsi superposé au modèle T1 et les variations sont calculées.

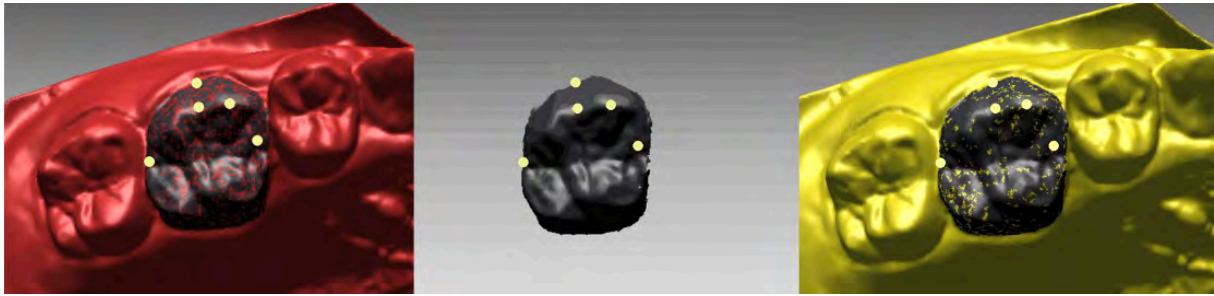


Figure 29 : Superposition des modèles T1 et T2 (Pan et al. 2020)

Une analyse de corrélation inter et intra examinateur a été réalisée avec des valeurs variant de 0,85 à 0,9 et de 0,88 à 0,9.

Nous retrouvons également dans la littérature une étude de 2016 publiée par Duran et al. détaillant une méthode associant plusieurs points de repère placés manuellement. (88)

Des points de référence sont placés sur chaque dent sur chaque modèle par un investigateur unique. Ces points sont positionnés sur les modèles T0 avant traitement sur les modèles T1 post-recul.

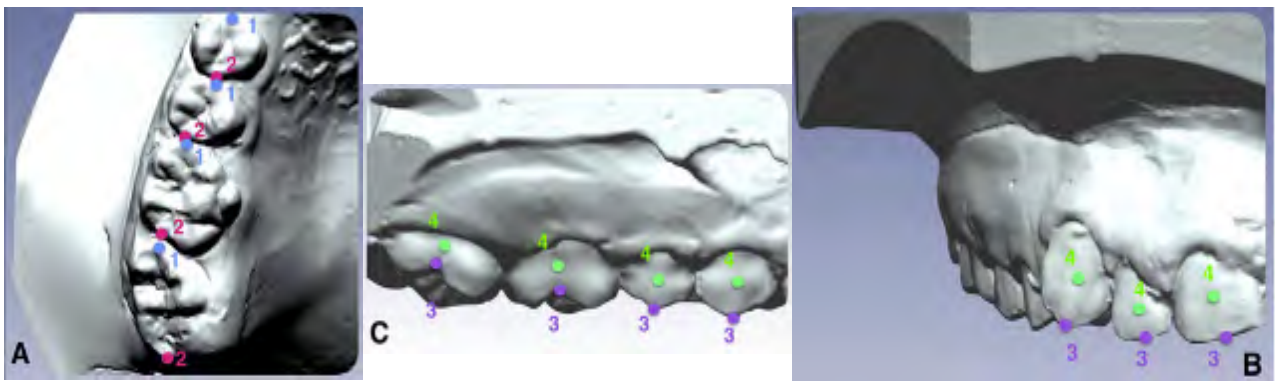


Figure 30: Points de référence (A) vue occlusale (B) vue frontale (C) vue sagittale. (1) point mésio-occlusal (2) point disto-occlusal (3) extrémités des cuspidés des canines et des prémolaires, et points médians (4) point de l'axe facial FA (Duran et al. 2016)

Les modèles T0 et T1 sont ensuite superposés. Des lignes sont déterminées entre les différents points.

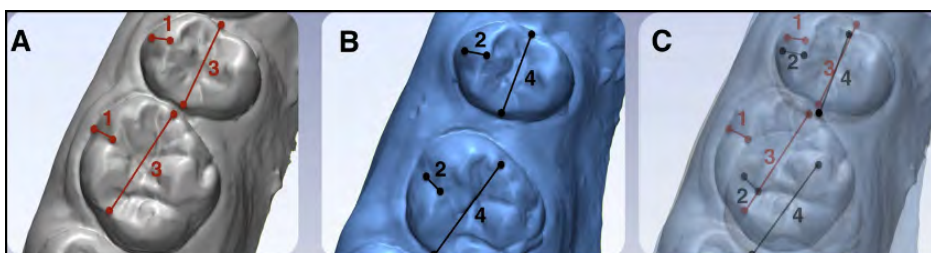


Figure 31 : Lignes de référence : (A) T0 (B) T1 (C) modèles superposés (T0-T1) (Duran et al. 2016).

Sur T0 et sur T1 :

- ligne 1 sur T0 et ligne 2 sur T1 : valeurs de tip
  - o Molaires : point inter-cuspides vestibulaires, point FA
  - o Prémolaires : pointe cuspidienne, point FA
- ligne 3 sur T0 et ligne 4 sur T1: valeurs de rotation
  - o prémolo-molaires : milieu crête marginale mésiale, milieu de la crête marginale distale

La distance entre les différents points est ensuite mesurée en millimètre sur les axes X Y Z. Les angles entre les lignes sont ensuite utilisés pour mettre en évidence des valeurs de tip, d'inclinaison de rotation.

Historiquement, l'orthodontiste a été habitué à superposer sur des points en 2D sur des céphalométries, technique qu'il a extrapolé aux superpositions 3D. Ces techniques se basent sur le placement manuel de points, dont le positionnement est soumis à des biais de mesure. Cependant, le 3D nous offre la possibilité de superposer sur des surfaces soit une multitude de points, ce qui augmente considérablement la précision.



### **III. Proposition d'un protocole original de superposition sur modèle numérique**

Des recherches ont déjà été menées au sein du service d'orthopédie dento-faciale de Toulouse sur des protocoles de superposition. Notamment, le mémoire de DES de Detant, soutenu en 2018, se basant uniquement sur les papilles palatines. Les conclusions de ce mémoire évoquaient :

- Des modifications palatines trop importantes entraînant des erreurs rotationnelles comme les effets de roulis et de tangage ce qui rend difficile la reproductibilité de l'alignement des surfaces.
- Une durée trop importante entre les différentes acquisitions pour espérer une superposition parfaite sur les papilles seules.
- Cependant, ses conclusions sont à prendre avec précaution puisque les modèles en plâtre étaient scannés, entraînant ainsi des risques de déformations de l'alginat, du plâtre, et de la caméra 3D combinant ainsi les défauts des deux modes d'acquisition. L'image obtenu était donc moins précise.

L'objectif de notre travail était de créer un nouveau protocole de superposition plus stable dans le but de réaliser une étude d'analyse 3D des mouvements dentaires en technique de recul indirect. Nous avons décidé d'effectuer les superpositions sur les modèles numériques plutôt que sur des documents radiologiques. Afin d'éviter les effets de roulis et de tangage, nous avons utilisé en plus les vis, à distance des rugae. Nous avons réalisé les empreintes optiques à T0 ainsi que à la fin du recul molaire (T1), et non pas à la fin du traitement orthodontique, soit une période entre les acquisitions de 6 à 8 mois. Concernant l'analyse du déplacement dentaire, nous avons utilisé des surfaces de superposition et non des points.

Nous avons mené notre étude sur le logiciel Thermo Scientific™ Avizo™ Software 9©. Avizo est un logiciel doté de différents modules indépendants. Il permet de traiter des structures de données complexes, d'analyser et de manipuler ces données en 3D. Les divers modules servent à visualiser des objets ou à effectuer des opérations de calcul sur ces derniers.

## 1. Importation du fichier .stl sur Avizo

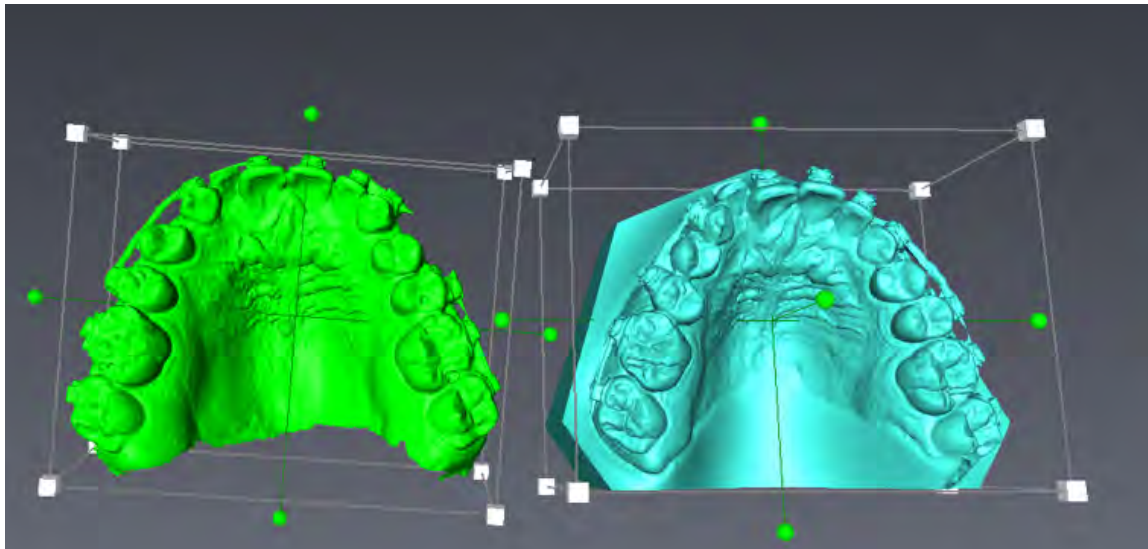
Nous avons récupéré et anonymisé des fichiers .stl dans une base de données. Nous importons deux fichiers sur le logiciel :

- fichier T0 : modèle T0 (initial) importé
- fichier T1 : modèle T1 (post recul) importé

## 2. Différenciation modèles T0-T1

Nous allons ensuite différencier les modèles T0 et T1. Nous utilisons la fonction des paramètres d'éditions pour colorer :

- Le modèle T0 en bleu
- Le modèle T1 en vert



*Figure 32 : Différenciation des modèles T1 et T0*

### 3. Positionnement selon x, y et z

Par la suite, le modèle T1 est positionné dans le repère selon les axes x y z. Nous utilisons la fonction d'édition de transformation afin d'orienter le modèle de la manière suivante :

- Axe x ROUGE : ligne passant en mésial de 26 et parallèle au plan d'occlusion
- Axe y VERT : ligne longeant la suture palatine médiane et parallèle au plan d'occlusion
- Axe z BLEU : origine à la hauteur de la ligne du collet de 26, perpendiculaire au plan d'occlusion

Le positionnement du modèle dans le repère permettra une évaluation des mouvements dentaires grâce aux valeurs calculées dans la console.

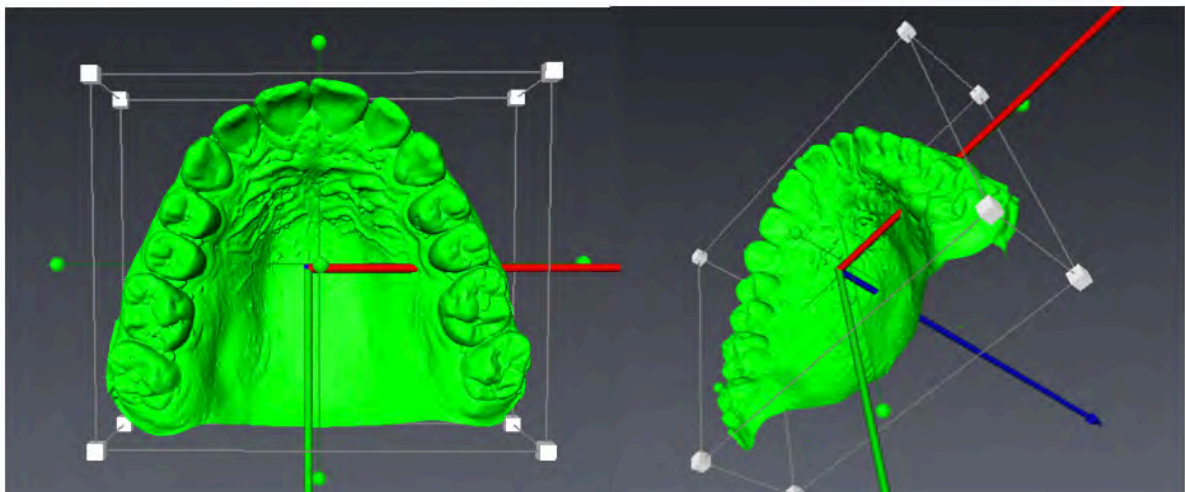


Figure 33 : Positionnement selon x y z

### 4. Délimitation de la zone de superposition

Après avoir positionné le modèle T1 dans l'espace, nous passons au modèle T0 repéré en bleu. Sur le modèle T0, nous allons délimiter les zones de superposition, comprenant la troisième rugae ainsi que les deux mini-vis. Nous utilisons la souris afin de délimiter manuellement les trois zones, et nous effaçons les autres parties du modèle T0 afin de ne conserver que les zones de superposition.





Figure 34: Délimitation de la zone définie de superposition : à droite et à gauche : les têtes de mini-vis, au centre la troisième rugae.

## 5. Superposition surfacique des modèles T0 et T1

La zone de superposition du modèle T0 est recalée sur la zone homologue du modèle t1 à l'aide d'un algorithme itératif visant à faire correspondre le plus grand nombre de points entre les deux surfaces dans la zone sélectionnée. Ce recalage automatique, réalisé par le logiciel, se fait selon « Iterative closest proximity algorithm » (ICP). Nous positionnons manuellement la zone T0 proche de la zone correspondante sur T1 pour éviter des calculs initiaux trop lourds et des superpositions absurdes.

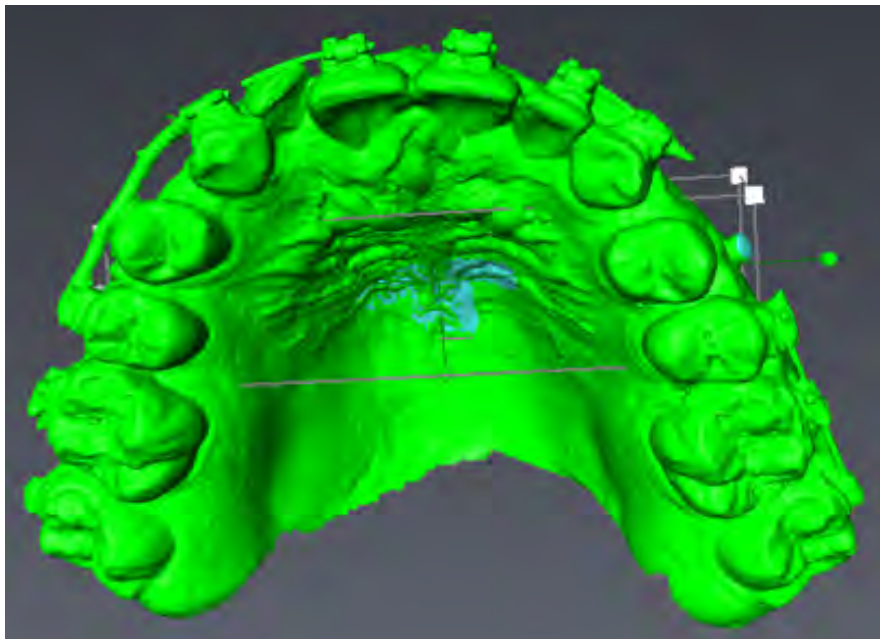
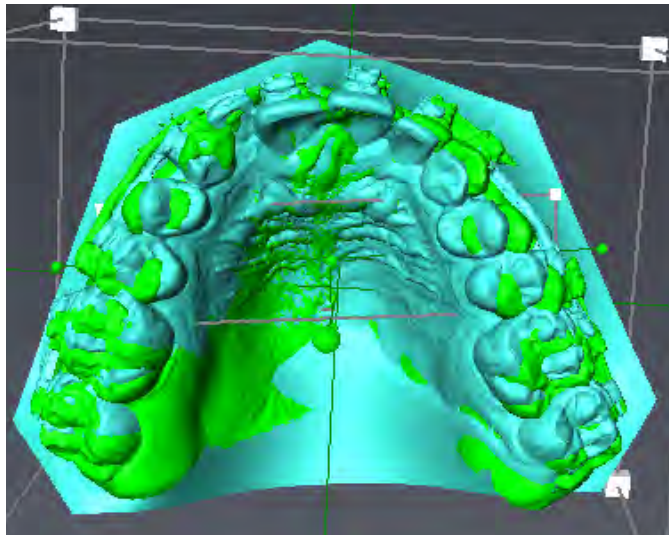


Figure 35: Recalage surfacique des modèles T1 et T0

## 6. Repositionnement de T0 dans le repère

Nous remplaçons ensuite le modèle T0 à partir de la zone de superpositions. Le modèle T0 est fixé dans le repère 3D. A partir de celui-ci, nous pouvons ensuite calculer les déplacements dentaires.

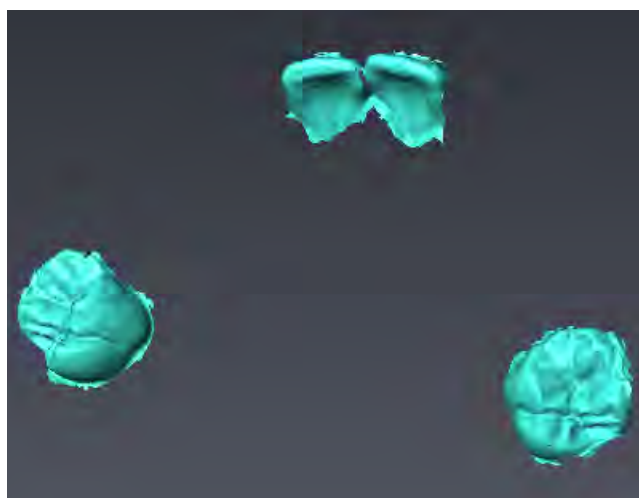
Nous avons ainsi le modèle T1 et T0 entièrement superposés sur la zone de superposition choisie sur T0.



*Figure 36 : T0 et T1 superposés sur les zones de superposition.*

## 7. Segmentation des dents à analyser

Incisives et molaires sont segmentées à partir de T0. Elles sont isolées sur quatre modèles T0 différents pour analyser chaque dent séparément.



*Figure 37 : Segmentation des dents à analyser*

## 8. Alignement des surfaces dentaires

À cette étape, nous allons positionner la surface occlusale de la dent à évaluer du modèle T0 le plus proche possible du modèle T1 manuellement. Ensuite, à l'aide de l'algorithme itératif, nous allons superposer la surface de la dent du modèle T0 au modèle T1. Ce recalage automatisé par le logiciel se fait à nouveau selon l'« Iterative closest proximity algorithm » (ICP).

Nous allons répéter ce processus pour chacune des dents dont le mouvement doit être analysé.

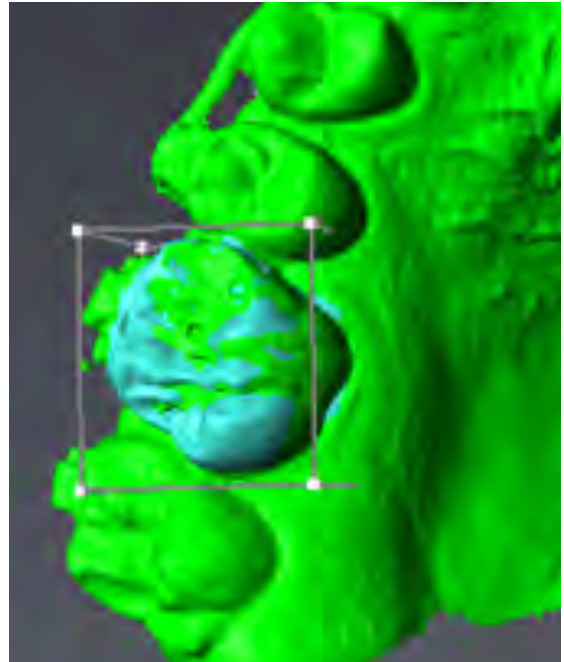


Figure 38 : Alignement des surfaces dentaires

## 9. Calcul des déplacements dentaires

### A. Déplacements métriques

Le logiciel procède ensuite à un calcul de déplacement entre la dent isolée et alignée sur T1 et sa position initiale sur le modèle T0.

Les valeurs de déplacements peuvent maintenant être récupérées sous forme de valeurs numériques dans la console selon x, y et z.

Nous les interprétons de la façon suivante :

16 :

- (-x) : vestibuloposition
- (+x) : palatoposition
- (-y) : mésialisation
- (+y) : distalisation
- (-z) : égression
- (+z) : ingression

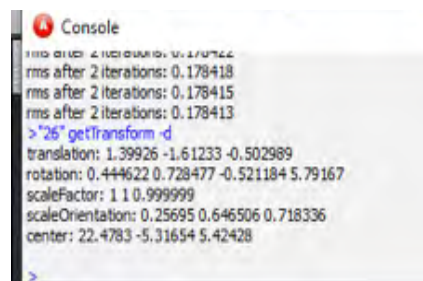


Figure 39 : Calcul du déplacement dentaire selon x y z

26 :

- (-x) : palatoposition
- (+x) : vestibuloposition
- (-y) : mésialisation
- (+y) : distalisation
- (-z) : égression
- (+z) : ingression

11 et 21 :

- (x) : déplacement mésio-distal
- (-y) : vestibuloposition
- (+y) : palatoposition
- (-z) : égression
- (+z) : ingression
- 

### B. Déplacements angulaires

Les valeurs de rotations peuvent aussi être récupérée sous forme de valeurs matricielles dans la console. Dans un second temps il est possible de calculer les angles d'Euler de chacune des dents avec :

- x : la précession qui correspond l'angle de rotation autour de O centre du repère et Z
- y : la nutation qui correspond a l'angle de rotation autour de O centre du repère et X1
- z : rotation propre qui correspond à l'angle de rotation autour de 0 centre du repère et Z2

La matrice de transformation est une matrice 4x4 qui est le produit matriciel de la matrice de translation par la matrice de rotation. Par calcul il est possible d'isoler une matrice  $R'_{(3x3)}$  correspondant à une rotation pure sachant que :  $H_{(4,4)} = T_{(4,4)} \cdot R_{(4,4)}$

$$R = \begin{pmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & r_{1,3} & t_x \\ r_{2,1} & r_{2,2} & r_{2,3} & t_y \\ r_{3,1} & r_{3,2} & r_{3,3} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R'_{3x3} & 0 \\ 0^t & 1 \end{pmatrix} \text{ et } T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

On aura ensuite,

$$R' = R_z(\gamma) \cdot R_x(\beta) \cdot R_y(\alpha)$$

où R' représente une rotation dont les angles d'Euler sont  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  (en utilisant la convention z-x-z pour les angles d'Euler).

Par convention en s'orientant dans le repère de base tel que x est dirigé vers l'observateur, y vers la droite et z vers le haut, ces rotations se font dans le sens contraire aux aiguilles d'une montre lorsque le troisième axe (celui qui ne subit pas la rotation) est dirigé vers l'observateur. Il sera possible d'interpréter ainsi selon notre repère d'orientation, les quantités angulaires de version, rotation et torque pour chaque dent intéressée.

En pratique, on veillera à bien interpréter les variations angulaire dont le résultat est donné par l'orientation au repère.

26 :

- (x+) : tip back
- (x-) tip forward
- (-z) rotation mésiopalatine
- (+z) rotation mésiovestibulaire

16 :

- (x+) : tip back
- (x-) tip forward
- (-z) rotation mésiovestibulaire
- (+z) rotation mésiopalatine

11 et 21 :

- (x+) : torque négatif
- (x-) : torque positif

## 10. Vérification de l'outil de superposition

Afin de vérifier la fiabilité de l'outil de superposition, nous avons superposé deux modèles identiques T0 à trois reprises. Nous avons pu observer une différence de positionnement de l'ordre du  $10^{-5}$  mm soit 0,00001 mm soit du centième de micron.

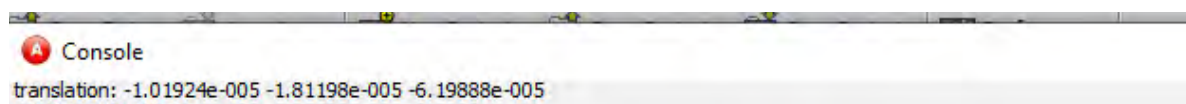


Figure 40 : Console de la superposition de deux modèles identiques, valeurs de déplacement

Nous pouvons considérer que cette différence avec zéro est négligeable et n'est pas cliniquement significative, l'outil est donc fiable.

## 11. Mise en application : Résultats d'un cas

déplacement selon (mm)	16			26			11			21		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
valeurs	-1,4	2,8	1,6	0,9	3,62	1,65	-0,18	-0,78	2,32	0,02	-1,01	2,19

Figure 41 : Résultat d'un cas (valeurs métriques)

Nous pouvons interpréter les résultats de la manière suivante :

- La 16 a effectué :
  - o Une vestibuloposition de 1,4mm
  - o Une **distalisation** de 2,8mm
  - o Une **ingression** de 1,6mm
- La 26 a effectué :
  - o Une vestibuloposition de à 0,9mm
  - o Une **distalisation** de 3,45mm
  - o Une **ingression** de 1,65mm
- La 11 a effectué :
  - o Un déplacement mésiodistal minime de 0,18mm
  - o Une vestibuloposition de 0,78mm
  - o Une **ingression** de 2,32mm
- La 21 a effectué :
  - o Un déplacement mésiodistal minime de 0,02mm
  - o Une vestibuloversion de 1,01mm
  - o Une **ingression** de 2,19mm

Angle d'Euler (°)	16			26			11			21		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
valeurs	8,3	6,6	-21,2	14,6	-4,9	21,4	-11,2	0,5	-3,6	-11,7	-3,7	25,3

Figure 42 : Résultat d'un cas (valeurs angulaires)

Nous pouvons interpréter les résultats de la manière suivante :

- La 16 a effectué :
  - o Rotation **mésiovestibulaire** de 21,2°
  - o Un **tip back** de 8,3°

- La 26 a effectué :
  - o Rotation **mésiovestibulaire** de 21,4°
  - o Un tip **back** de 14,6°
- La 11 a effectué :
  - o Un torque **positif** de 11,2°
- La 21 a effectué :
  - o Un torque **positif** de 11,7°

Nous avons réalisé la manipulation sur ce cas à trois reprises afin d'évaluer la corrélation intra-examineur. À partir des résultats ci-dessous, nous avons obtenu un coefficient de corrélation de 0,97.

déplacement selon (mm)	16			26			11			21		
	x (mm)	y (mm)	z (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)
valeurs manipulation 1	-1,4	2,8	1,6	0,9	3,62	1,65	-0,18	-0,78	2,32	0,02	-1,01	2,19
valeurs manipulation 2	-1,35	2,92	1,6	0,99	3,45	1,5	-0,19	-0,72	2,14	0,05	-1,2	2,12
valeurs manipulation 3	-1,3	2,8	1,5	0,93	3,4	1,6	-0,2	-0,8	2,36	0,02	-1,4	2,2

Figure 43 : Résultat d'un cas réalisé à trois reprises

Ces données semblent prometteuses quant à la quantité de recul molaire en technique indirecte. En effet, en comparaison avec les forces extra-orales, nous obtenons une quantité de recul deux à trois fois plus importante. En ce qui concerne les dispositifs intra-oraux, les valeurs de recul semblent être proches mais avec une vestibuloposition antérieure bien moindre. Le peu de vestibuloposition présente peut en partie s'expliquer par la mise en place des attaches et l'expression d'un torque contenu dans le bracket (schéma de classe II.2) et ne serait donc pas un effet indésirable de la mécanique mise en jeu. De plus, nous observons des valeurs minimales de x pour les incisives ce qui représente un mouvement mésiodistal de la couronne qui peut aussi être lié au bracket ou à des malpositions initiales. Nous remarquons également une ingression de la molaire, ce qui permet un bon contrôle vertical chez nos patients. Cette technique trouve une indication toute particulière chez le patient hyperdivergent.

En définitif, il semblerait que le recul indirect entraîne une ingression, une rotation mésiovestibulaire, un tip back et une distalisation molaire conséquente ainsi qu'une ingression incisive. Il reste cependant nécessaire de réaliser ces manipulations sur une cohorte plus importante afin d'obtenir des résultats statistiquement et cliniquement significatifs.

## Conclusion

Le recul et le contrôle molaire sont essentiels dans la détermination et l'obtention des résultats en orthodontie. Afin d'y parvenir, l'usage des mini-vis est devenu une réalité incontournable. Il est donc essentiel d'évaluer leurs performances dans tous les aspects de la mécanique orthodontique, ce qui passe nécessairement par la réalisation de superpositions.

Nous avons mis en évidence une carence dans la littérature concernant les performances du recul indirect. Parmi les différentes méthodes pour l'évaluer, nous avons retenu la superposition sur modèles digitaux, fiable et non irradiante. Nous avons constaté que la zone de superposition la plus fiable dans la littérature est la troisième rugae, et ce même chez un patient en croissance ou lors d'un traitement orthodontique complexe. Dans une optique de précision, nous avons choisi d'y ajouter les deux mini-vis pour superposer sur trois surfaces.

Afin de nous affranchir des dogmes du passé sur les superpositions par positionnement de points, nous avons réalisé des superpositions sur des surfaces en 3D. Bien que cette technique de collecte de données, de superposition et d'utilisation de logiciels puisse être difficile à mettre en œuvre en pratique privée, elle reste tout à fait réalisable dans le cadre d'une étude à visée explicative entreprise selon un protocole contrôlé.


Et, pour qu'elle soit plus facilement réalisable par d'autres, nous avons élaboré un protocole original et détaillé qui peut être suivi comme un tutoriel.

En outre, une cohorte prospective est actuellement en cours de réalisation afin d'analyser les mouvements dentaires en 3D lors d'un recul molaire indirect sur des ancrages vestibulaires pour la phase de recul molaire. L'objectif est de déterminer les mouvements souhaités et les mouvements indésirables dans les trois dimensions de l'espace, ainsi que de constater les variations d'effets en fonction du système de recul utilisé.

Cette méthode devrait donc être employée dans tous les travaux nécessitant un suivi des mouvements dentaires, en particulier dans le cadre des travaux avec des mini-vis, dont les propriétés d'ancrage et la stabilité font d'elles de véritables outils de superposition.

Vu le président du jury

F. Vaysse



*Le Directeur de Thèse,*





## Annexe des figures

Figure 1 : Classe I d'Angle .....	13
Figure 2 : Classe II.1 d'Angle.....	14
Figure 3 : Classe II.2 d'Angle.....	14
Figure 4 : Classe III d'Angle .....	14
Figure 5 : Inclusion de 23, perte d'espace sur l'arcade avec 22 au contact de 24.....	15
Figure 6 : Perte précoce de 65, perte d'espace sur arcade avec 24 au contact de 26.....	16
Figure 7 : Dysharmonie dento-maxillaire chez une patiente de 11 ans. ....	17
Figure 8 : Le Head gear de Kinglsey 1866 (16).....	18
Figure 9: Utilisation d'un pendulum afin de réaliser un recul molaire maxillaire unilatéral gauche suite a une mésio-position de 26.....	19
Figure 10: Schéma d'un mini-implant .....	20
Figure 11: Vascularisation palatine.....	21
Figure 12: Aire en T de Wilmes et al. ....	21
Figure 13: Complications liées aux mini-implants, conduite à tenir et pronostic.....	23
Figure 14: Biomécanique d'un recul indirect ( Faure 2011).....	26
Figure 15: Stratégie de recherche.....	29
Figure 16 : Diagramme de flux .....	30
Figure 17 : Résultats de chaque étude .....	42
Figure 18 : Stades de formation des rugae (Peterkova et al. 1987.).....	46
Figure 19 : Développement des rugae (Peterkova et al. 1987) .....	47
Figure 20 : Zones de superpositions étudiées.(Vasikilos et al. 2017).....	48
Figure 21 : (a) modèle de départ avec 4 points marqués sur les rugae, (b) set up avec 4 points marqués sur les rugae (c) Superpositions sur les rugae (Pazera et al. 2020).....	49
Figure 22 : (a) Superposition de l'acquisition 3D sur le CBCT (b); Voute palatine point de référence de superposition des acquisitions 3D (c); Superposition du modèle initiale, du CBCT de fin de traitement et de l'acquisition de fin de traitement (Pan et al. 2019).....	49

Figure 23 : (a) Modèle digital (b) Nuage de points des rugae sur le modèle avant traitement (c) Superposition intra-individuelle avant et après traitement (d) Superposition inter-individuelles avant et après traitement (Zhao et al. 2022) .....	50
Figure 24 : (haut) marquage sur les LBF (bas) marquage sur LB (Camci et al. 2021).....	50
Figure 25 : Facial axis point, système 3D (Ali et al. 2016).....	51
Figure 26: Définition des différents plans de références (Ali et al. 2016).....	51
Figure 27 : Système de coordonnées sur T1(Pan et al. 2020).....	52
Figure 28 : Points de repère U6 et U1 (Pan et al. 2020) .....	52
Figure 29 : Superposition des modèles T1 et T2 (Pan et al. 2020) .....	53
Figure 30: Points de référence (A) vue occlusale (B) vue frontale (C) vue sagittale. (1) point mésio-occlusal (2) point disto-occlusal (3) extrémités des cuspides des canines et des prémolaires, et points médians (4) point de l'axe facial FA (Duran et al. 2016).....	53
Figure 31 : Lignes de référence : (A) T0 (B) T1 (C) modèles superposés (T0-T1) (Duran et al. 2016).....	53
Figure 32 : Différentiation des modèles T1 et T0 .....	56
Figure 33 : Positionnement selon x y z .....	57
Figure 34: Délimitation de la zone définie de superposition : à droite et à gauche : les têtes de mini-vis, au centre la troisième rugae. ....	58
Figure 35: Recalage surfacique des modèles T1 et T0.....	58
Figure 36 : T0 et T1 superposés sur les zones de superposition. ....	59
Figure 37 : Segmentation des dents à analyser .....	59
Figure 38 : Alignement des surfaces dentaires.....	60
Figure 39 : Calcul du déplacement dentaire selon x y z.....	60
Figure 40 : Console de la superposition de deux modèles identiques, valeurs de déplacement .....	62
Figure 41 : Résultat d'un cas (valeurs métriques) .....	63
Figure 42 : Résultat d'un cas (valeurs angulaires).....	63
Figure 43 : Résultat d'un cas réalisé à trois reprises.....	64

## **Bibliographie**

1. Raghis TR, Alsulaiman TMA, Mahmoud G, Youssef M. Efficiency of maxillary total arch distalization using temporary anchorage devices (TADs) for treatment of Class II-malocclusions: A systematic review and meta-analysis. *International Orthodontics*. sept 2022; **20**: 100666.
2. Jambi S, Thiruvengkatachari B, O'Brien KD, Walsh T. Orthodontic treatment for distalising upper first molars in children and adolescents. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2013; **10**.
3. Sugawara J, Umemori M, Mitani H, Nagasaka H, Kawamura H. Orthodontic treatment system for Class III malocclusion using a titanium miniplate as an anchorage. *Orthodontic Waves* 1998; **57**: 25-35.
4. Angle E. Treatment of Malocclusion of the Teeth and Fractures of the Maxillae: Angle's System. White Dental Manufacturing Company. 1899.
5. Kaczor-Urbanowicz K, Zadurska M, Czochrowska E. Impacted Teeth: An Interdisciplinary Perspective. *Advances in Clinical and Experimental Medicine* 2016; **25**: 575-85.
6. Greco M, Machoy M. Impacted Canine Management Using Aligners Supported by Orthodontic Temporary Anchorage Devices. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2023; **20**: 131.
7. Brothwell DJ. Guidelines on the use of space maintainers following premature loss of primary teeth. *Journal of the Canadian Dental Association* 1997; **63**: 753-766.
8. Bhujel N, Duggal MS, Saini P, Day PF. The effect of premature extraction of primary teeth on the subsequent need for orthodontic treatment. *European Archives of Paediatric Dentistry* 2016; **17**: 423-34.
9. Tunison W, Flores-Mir C, ElBadrawy H, Nassar U, El-Bialy T. Dental Arch Space Changes Following Premature Loss Of Primary First Molars: A Systematic Review. *Pediatric Dentistry* 2008; **30**: 297-302.
10. Cernei ER, Mavru RB, Zetu IN. Axial modifications of permanent lower molars after premature losses of temporary molars. *The medical-Surgical Journal* 2016; **120**: 178-185. 2016
11. Petcu A, Maxim A, Haba D. Correlation between the lower first permanent molar axis and the premature loss of temporary molars. *The medical-Surgical Journal* 2009; **113**: 1253-1257.
12. Bunon R. Essai sur les maladies des dents. 1743.
13. Chateau M. Orthopédie dento-faciale. Édition Prélat;1975.
14. SFODF. Dictionnaire d'Orthognathodontie. 3<sup>ème</sup> édition EDP Science; 2015.
15. Hotz RP. Guidance of eruption versus serial extraction. *American Journal of Orthodontics* 1970; **58**: 1-20.
16. Pavlick CJ. Cervical headgear usage and the bioprogressive orthodontic philosophy. *Seminars in Orthodontics* 1998; **4**: 219-230.
17. Merrifield E. Edgewise sequential directional force technology. *JCH Tweed Foundation* 1986; **14**, 22-37.
18. Samuels RHA. A review of orthodontic face-bow injuries and safety equipment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 1996; **23**: 11-20.
19. Kyung S, Hong S, Park Y. Distalization of maxillary molars with a midpalatal miniscrew. *Journal of Clinical Orthodontics* 2003; **37**: 22-26.
20. Brånemark PI, Breine U, Adell R, Hansson BO, Lindström J, Ohlsson Å. Intra-Osseous Anchorage of Dental Prostheses: Experimental Studies. *Scandinavian Journal of Plastic and*

*Reconstructive Surgery* 1969; **3**: 81-100.

21. Prabhu J, Cousley RRJ. Current Products and Practice: Bone anchorage devices in orthodontics. *Journal of Orthodontics* 2006; **33**: 288-307.
22. Motoyoshi M, Uemura M, Ono A, Okazaki K, Shigeeda T, Shimizu N. Factors affecting the long-term stability of orthodontic mini-implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2010; **137**: 588.
23. Lee JS. Applications of orthodontic mini implants. Quintessence; 2007.
24. Ludwig B, Glasl B, Bowman SJ, Wilmes B, Kinzinger GSM, Lisson JA. Anatomical Guidelines for Miniscrew Insertion: Palatal Sites. *Journal of Clinical Orthodontic* 2011; **45**: 9.
25. Turrel B, Valran V, Gebeile-Chauty S. Biomechanics of mini-implants: analysis of the adverse effects of four clinical situations and proposed resolutions. *L'Orthodontie Française* 2021; **92**: 195-214.
26. Mohamed RN, Basha S, Al-Thomali Y. Maxillary molar distalization with miniscrew-supported appliances in Class II malocclusion: A systematic review. *The Angle Orthodontist* 2018; **88**: 494-502.
27. Ellouze S, Darque F. Mini-Implant : L'orthodontie de demain. Quintessence International; 2012.
28. Lee JS, Kim KJ, Park Y-C, Vanardall RL. Applications of Orthodontic Mini-Implants. Quintessence; 2007.
29. Papageorgiou SN, Zogakis IP, Papadopoulos MA. Failure rates and associated risk factors of orthodontic miniscrew implants: A meta-analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2012; **142**: 577-595.
30. Alharbi F, Almuzian M, Bearn D. Miniscrews failure rate in orthodontics: systematic review and meta-analysis. *European Journal of Orthodontics* 2018; **40**: 519-30.
31. Baumgaertel S. Hard and soft tissue considerations at mini-implant insertion sites. *Journal of Orthodontics* 2014; **41**: S3-7.
32. Uesugi S, Kokai S, Kanno Z, Ono T. Stability of secondarily inserted orthodontic miniscrews after failure of the primary insertion for maxillary anchorage: Maxillary buccal area vs midpalatal suture area. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2018; **153**: 54-60.
33. Ahmed V KS, Rooban T, Krishnaswamy NR, Mani K, Kalladka G. Root damage and repair in patients with temporary skeletal anchorage devices. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2012; **141**: 547-55.
34. Motoyoshi M, Sanuki-Suzuki R, Uchida Y, Saiki A, Shimizu N. Maxillary sinus perforation by orthodontic anchor screws. *Journal of Oral Science* 2015; **57**: 95-100.
35. Assad-Loss TF, Kitahara-Céia FMF, Silveira GS, Elias CN, Mucha JN. Fracture strength of orthodontic mini-implants. *Dental Press Journal of Orthodontics* 2017; **22**: 47-54.
36. Kim YH, Yang SM, Kim S, Lee JY, Kim KE, Gianelly AA, et al. Midpalatal miniscrews for orthodontic anchorage: Factors affecting clinical success. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2010; **137**: 66-72.
37. Lamberton JA, Oesterle LJ, Shellhart WC, Newman SM, Harrell RE, Tilliss T, et al. Comparison of pain perception during miniscrew placement in orthodontic patients with a visual analog scale survey between compound topical and needle-injected anesthetics: A crossover, prospective, randomized clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2016; **149**: 15-23.
38. Cousley RRJ. The orthodontic mini-implant clinical handbook. Second edition. Hoboken; 2020.

39. Chen YJ, Chang HH, Lin HY, Lai EHH, Hung HC, Yao CCJ. Stability of miniplates and miniscrews used for orthodontic anchorage: experience with 492 temporary anchorage devices. *Clinical Oral Implants Research* 2008; **19**: 1188-96.
40. Chen G, Chen S, Zhang X, Jiang R, Liu Y, Shi F, et al. Stable region for maxillary dental cast superimposition in adults, studied with the aid of stable miniscrews. *Orthodontics and Craniofacial Research* 2011; **14**: 70-9.
41. Jang I, Tanaka M, Koga Y, Iijima S, Yozgatian JH, Cha BK, et al. A Novel Method for the Assessment of Three-Dimensional Tooth Movement during Orthodontic Treatment. *The Angle Orthodontist* 2009; **79**: 447-53.
42. Park JH, Kook YA, Kim YJ, Lee NK. Biomechanical considerations for total distalization of the maxillary dentition using TSADs. *Seminars in Orthodontics* 2020; **26**: 139-47.
43. Faure J. *Biomécanique orthodontique*. EDP Sciences; 2011.
44. Baron P. Impact of anchorage miniscrews in multibracket treatments without extractions. *Journal of Dentofacial Anomalies and Orthodontics* 2014; **17**: 305.
45. Baron P. *Ancrages vissés en orthodontie*. EMC-Médecine Buccale; 2015.
46. Cumpston M, Li T, Page MJ, Chandler J, Welch VA, Higgins JP, et al. Updated guidance for trusted systematic reviews: a new edition of the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. *The Cochrane Database Systematic Reviews* 2019.
47. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JPA, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Annals of internal medicine* 2009; **151**: 65-94.
48. Gedda M. Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinésithérapie la Revue* 2015; **15**: 39-44.
49. Bayome M, Jae Hyun Park, Bay C, Yoon-Ah Kook. Distalization of maxillary molars using temporary skeletal anchorage devices: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics and Craniofacial Research* 2021; **24**: 103-12.
50. Bechtold TE, Park YC, Kim KH, Jung H, Kang JY, Choi YJ. Long-term stability of miniscrew anchored maxillary molar distalization in Class II treatment. *The Angle Orthodontist* 2020; **90**: 362-8.
51. Jung CY, Park JH, Ku JH, Lee NK, Kim Y, Kook YA. Dental and skeletal effects after total arch distalization using modified C-palatal plate on hypo- and hyperdivergent Class II malocclusions in adolescents. *The Angle Orthodontist* 2021; **91**: 22-9.
52. Bozkaya E, Tortop T, Yüksel S, Kaygısız E. Evaluation of the effects of the hybrid Pendulum in comparison with the conventional Pendulum appliance. *The Angle Orthodontist* 2020; **90**: 194-201.
53. Levin L, Vasiliauskas A, Armalaite J, Kubiliute K. L. Comparison of skeletal anchorage distalizers effect in maxillary buccal segment: A systematic review. *Stomatologija* 2018; **20**: 66-72.
54. Yamada K, Kuroda S, Deguchi T, Takano-Yamamoto T, Yamashiro T. Distal Movement of Maxillary Molars Using Miniscrew Anchorage in the Buccal Interradicular Region. *The Angle Orthodontist* 2009; **79**: 78-84.
55. Sar C, Kaya B, Ozsoy O, Özcirpici AA. Comparison of two implant-supported molar distalization systems. *The Angle Orthodontist* 2013; **83** : 460-7.
56. Cozzani M, Fontana M, Maino G, Maino G, Palpacelli L, Caprioglio A. Comparison between direct vs indirect anchorage in two miniscrew-supported distalizing devices. *The Angle Orthodontist* 2016; **86**: 399-406.
57. Kim S, Lee NK, Park JH, Ku JH, Kim Y, Kook YA, et al. Treatment effects after maxillary total arch distalization using a modified C-palatal plate in patients with Class II malocclusion with sinus pneumatization. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2022; **162**:

469-76.

58. Chong Ook Park, Sa'aed NL, Bayome M, Jae Hyun Park, Yoon-Ah Kook, Young-Seok Park, et al. Comparison of treatment effects between the modified C-palatal plate and cervical pull headgear for total arch distalization in adults. *The Korean Journal of Orthodontics* 2017; **47** :375-83.
59. Kinzinger GSM, Gulden N, Yildizhan F, Diedrich PR. Efficiency of a skeletonized distal jet appliance supported by miniscrew anchorage for noncompliance maxillary molar distalization. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2009; **136**: 578-86.
60. Alfaifi M, Jae Hyun Park, Kiyoshi Tai, Ja Hyeong Ku, Vaid NR, Yoon-Ah Kook, et al. Comparison of Treatment Effects with Modified C-Palatal Plates vs Greenfield Molar Distalizer Appliances in Adolescents. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 2020; **44**: 202-8.
61. Lee SK, Abbas NH, Bayome M, Baik UB, Kook YA, Hong M, et al. A comparison of treatment effects of total arch distalization using modified C-palatal plate vs buccal miniscrews. *The Angle Orthodontist* 2018; **88**: 45-51.
62. Sugawara J, Kanzaki R, Takahashi I, Nagasaka H, Nanda R. Distal movement of maxillary molars in nongrowing patients with the skeletal anchorage system. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2006; **129**: 723-33.
63. Rosa WGN, de Almeida-Pedrin RR, Oltramari PVP, de Castro Conti ACF, Poleti TMFF, Shroff B, et al. Total arch maxillary distalization using infrazygomatic crest miniscrews in the treatment of Class II malocclusion: a prospective study. *The Angle Orthodontist* 2023; **93**: 41-8.
64. Abdelhady NA, Tawfik MA, Hammad SM. Maxillary molar distalization in treatment of angle class II malocclusion growing patients: Uncontrolled clinical trial. *International Orthodontics* 2019; **18**: 96-104.
65. Fudalej P, Antoszewska J. Are orthodontic distalizers reinforced with the temporary skeletal anchorage devices effective? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2011; **139**: 722-9.
66. Caprioglio A, Cafagna A, Fontana M, Cozzani M. Comparative evaluation of molar distalization therapy using pendulum and distal screw appliances. *The Korean Journal of Orthodontics* 2015; **45**: 171-9.
67. Kircali M, Yuksel AS. Evaluation of Dentoalveolar and Dentofacial Effects of a Mini-Screw-Anchored Pendulum Appliance in Maxillary Molar Distalization. *Turkish Journal of Orthodontics* 2018; **31**: 103-9.
68. Maino G, Mariani L, Bozzo I, Maino G, Caprioglio A. Maxillary molar distalization with MGBM-system in class II malocclusion. *Journal of Orthodontic Science* 2013; **2**: 101
69. Miresmaeili A, Sajedi A, Moghimbeigi A, Farhadian N. Three-dimensional analysis of the distal movement of maxillary 1st molars in patients fitted with mini-implant-aided trans-palatal arches. *The Korean Journal of Orthodontics* 2015; **45**: 236-44.
70. Ponce-Garcia C, Lagravere-Vich M, Cevidanes LHS, De Olivera Ruellas AC, Carey J, Flores-Mir C. Reliability of three-dimensional anterior cranial base superimposition methods for assessment of overall hard tissue changes: A systematic review. *The Angle Orthodontist* 2018; **88**: 233-45.
71. Fédération Française D'orthodontie. Indication et champ d'application du Cone Beam (CBCT) en orthodontie. Recommandations de Bonne Pratique. 2017.
72. De Grauwe A, Ayaz I, Shujaat S, Dimitrov S, Gbadegbegnon L, Vande Vannet B, et al. CBCT in orthodontics: a systematic review on justification of CBCT in a paediatric population prior to orthodontic treatment. *European Journal of Orthodontics* 2019; **41**: 381-9.
73. Fleming PS, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthodontics and craniofacial research* 2011; **14**: 1-16.

74. De Luca Canto G, Pachêco-Pereira C, Lagravere MO, Flores-Mir C, Major PW. Intra-arch dimensional measurement validity of laser-scanned digital dental models compared with the original plaster models: a systematic review. *Orthodontics and Craniofacial Research* 2015; **18**: 65-76.
75. Aragón MLC, Pontes LF, Bichara LM, Flores-Mir C, Normando D. Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: a systematic review. *European Journal of Orthodontics* 2016; **38** : 429-34.
76. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F, Takafuji K, Takahashi T, Yokota J, et al. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *Journal of Prosthodontic Research* 2020; **64**: 109-13.
77. Sfondrini MF, Gandini P, Malfatto M, Di Corato F, Trovati F, Scribante A. Computerized Casts for Orthodontic Purpose Using Powder-Free Intraoral Scanners: Accuracy, Execution Time, and Patient Feedback. *BioMed Research International* 2018; **2018**:1-8.
78. Peterková R, Klepáček I, Peterka M. Prenatal development of rugae palatinae in mice: scanning electron microscopic and histologic studies. *Journal of Craniofacial Genetics and Developmental Biology* 1987; **7**:169-189.
79. Poojya R, Shruthi CS, Rajashekar VM, Kaimal A. Palatal Rugae Patterns in Edentulous Cases, Are They A Reliable Forensic Marker? *International Journal of Biomedical Science* 2015; **11**: 4.
80. Chong J, Mohamed A, Pau A. Morphological patterns of the palatal rugae: A review. *Journal of Oral Biosciences* 2020; **62**: 249-259.
81. Vasilakos G, Schilling R, Halazonetis D, Gkantidis N. Assessment of different techniques for 3D superimposition of serial digital maxillary dental casts on palatal structures. *Scientific Reports* 2017; **7** :5838.
82. Pan Y, Wang X, Dai F, Chen G, Xu T. Accuracy and reliability of maxillary digital model (MDM) superimposition in evaluating teeth movement in adults compared with CBCT maxillary superimposition. *Scientific Report* 2020; **10**: 19384.
83. Pazera C, Gkantidis N. Palatal rugae positional changes during orthodontic treatment of growing patients. *Orthodontics and Craniofacial Research* 2021; **24**: 351-9.
84. Camcı H, Salmanpour F. Effects of Type and Amount of Orthodontic Tooth Movement on Digital Model Superimposition Accuracy. *Turkish Journal of Orthodontics* 2021; **34**: 220-6.
85. Zhao J, Du S, Liu Y, Saif BS, Hou Y, Guo Y cheng. Evaluation of the stability of the palatal rugae using the three-dimensional superimposition technique following orthodontic treatment. *Journal of Dentistry* 2022; **119**: 104055.
86. Ali D, Mohammed H, Koo SH, Kang KH, Kim SC. Three-dimensional evaluation of tooth movement in Class 11 malocclusions treated without extraction by orthodontic mini-implant anchorage. *The Korean Journal of Orthodontics* 2016; **46** :280-9.
87. Pan Y, Wang X, Dai F, Chen G, Xu T. Accuracy and reliability of maxillary digital model (MDM) superimposition in evaluating teeth movement in adults compared with CBCT maxillary superimposition. *Scientific Reports* 2020; **10**: 19384.
88. Duran SG, Gorgulu S, Dindaroglu F. Three-dimensional analysis of tooth movements after palatal miniscrew-supported molar distalization. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2016; **150**: 188-197.

## LE REcul ORTHODONTIQUE MOLAIRE SUR MINI-VIS : REVUE DE LITTÉRATURE ET PROPOSITION D'UN PROTOCOLE D'ANALYSE TRIDIMENSIONNELLE

---

### RÉSUMÉ EN FRANÇAIS :

**Introduction** : L'objectif principal de cette thèse est de proposer un protocole d'analyse tridimensionnelle des mouvements dentaires par superposition sur modèles, après un recul molaire indirect assisté par mini-vis. **Matériels et Méthodes** : Nous avons repris les aspects de la distalisation molaire : conventionnelle, puis assistée par mini-vis. Une analyse de la littérature a été menée pour quantifier le déplacement molaire obtenu en fonction des techniques utilisées, avec une attention particulière pour le recul indirect. Ensuite, nous avons investigué les différentes méthodes de superposition et leur fiabilité. Enfin, nous avons pu proposer un protocole original de superposition afin d'analyser les mouvements dentaires lors d'un recul molaire assisté par mini-implants. **Résultats** : Nous avons pu mettre en évidence une carence d'informations concernant le recul indirect et ses performances dans la littérature. De plus, en orthodontie, nous avons pu déterminer que la superposition sur modèles digitaux (mini-vis, troisième rugae) est actuellement une technique de choix. **Conclusion** : Nous avons pu mettre au point un protocole de superposition fiable, afin de déterminer les mouvements dentaires lors du recul indirect.

---

ENGLISH TITLE : Molar distalisation supported by mini-screws : a narrative review and conceiving a protocol for three-dimensional analysis.

---

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : 56.01, Odontologie pédiatrique et Orthopédie Dento-Faciale.

---

MOTS CLÉS : mini-vis, mini-implant, recul molaire, distalisation molaire, recul indirect, superposition, protocole de superposition, analyse des mouvements dentaires.

---

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier Faculté de santé – Département d'Odontologie  
3 chemin des Maraîchers 31062 Toulouse Cedex09

---

DIRECTEUR DE THÈSE : BARON Pascal