



Précision des guides chirurgicaux “in-office” pour le positionnement des minivis orthodontiques : une étude in-vitro

Nicolas Le Treut

► To cite this version:

Nicolas Le Treut. Précision des guides chirurgicaux “in-office” pour le positionnement des minivis orthodontiques : une étude in-vitro. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-04117537

HAL Id: dumas-04117537

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04117537>

Submitted on 5 Jun 2023

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

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

N° d'ordre :

ANNÉE 2022



THESE D'EXERCICE / UNIVERSITÉ DE RENNES 1

sous le sceau de l'Université Bretagne Loire

Thèse en vue du

DIPLÔME D'ETAT EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée par

Nicolas LE TREUT

né le 08 novembre 1993

**Précision des guides
chirurgicaux « in-office »
pour le positionnement des
minivis orthodontiques :
une étude in-vitro**

Thèse soutenue à Rennes le 18 mars 2022

devant le jury composé de :

Olivier SOREL

Professeur des Universités, UFR
Odontologie Rennes / *Président*

Damien BREZULIER

Maître de Conférences des Universités
UFR Odontologie Rennes / *Directeur de
thèse*

Tiphaine DAVIT-BEAL

Professeur des Universités, UFR
Odontologie Rennes / *Assesseur*

Thomas POTTIER

Assistant Hospitalo-Universitaire, UFR
Odontologie Rennes / *Assesseur*

N° d'ordre :



ANNÉE 2022



THESE D'EXERCICE / UNIVERSITÉ DE RENNES 1
sous le sceau de l'Université Bretagne Loire

Thèse en vue du
DIPLÔME D'ETAT EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée par
Nicolas LE TREUT

né le 08 novembre 1993

**Précision des guides
chirurgicaux « in-office »
pour le positionnement des
minivis orthodontiques :
une étude in-vitro**

Thèse soutenue à Rennes le 18 mars 2022

devant le jury composé de :

Olivier SOREL

Professeur des Universités, UFR
Odontologie Rennes / *Président*

Damien BREZULIER

Maître de Conférences des Universités
UFR Odontologie Rennes / *Directeur de
thèse*

Tiphaine DAVIT-BEAL

Professeur des Universités, UFR
Odontologie Rennes / *Assesseur*

Thomas POTTIER

Assistant Hospitalo-Universitaire, UFR
Odontologie Rennes / *Assesseur*

Section 56-01 : Développement, croissance et prévention

Odontologie pédiatrique

SIXOU Jean Louis
DAVIT-BEAL Tiphaine
MARIE-COUSIN Alexia
JOUAULT Estelle

Professeur des universités-Praticien hospitalier
Professeur des universités - Praticien hospitalier
Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
Assistant hospitalier universitaire

Orthopédie dento-faciale

SOREL Olivier
BREZULIER Damien
NAAIM Mohamed
CONTAMINE Marie
POTTIER Thomas
LUCAS Capucine

Professeur des universités - Praticien hospitalier
Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
Assistant hospitalier universitaire
Assistant hospitalier universitaire
Assistant hospitalier universitaire
Assistant hospitalier universitaire

Section 56-02 Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale

BERTAUD Valérie
COUATARMANACH Antoine
KORSAKOFF Natacha
ZNATY Gaëlle

Professeur des universités - Praticien hospitalier
Maître de conférences des universités (associé)
Assistant hospitalier universitaire
Assistant hospitalier universitaire

Section 57-01 : Chirurgie orale ; parodontologie ; biologie orale

Chirurgie orale

LEJEUNE-CAIRON Sophie
LIMBOUR Patrick
BADER Gérard
MURDEN Krisnen
DULONG Arnaud
HAMON Julien

Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
Assistant hospitalier universitaire
Assistant hospitalier universitaire
Assistant hospitalier universitaire

Parodontologie

JEANNE Sylvie
BOLLE Caroline
NOVELLO Solen
MAILLARD Sophie
PARCOU Clément

Professeur des universités - Praticien hospitalier
Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
Maître de conférences des universités – Praticien hospitalier
Assistant hospitalier universitaire
Assistant hospitalier universitaire

Biologie orale

BONNAURE-MALLET Martine
MEURIC Vincent
FONG Shao Bing

Professeur des universités - Praticien hospitalier
Professeur des universités - Praticien hospitalier
Assistant universitaire (associé)

Section 58 : Dentisterie restauratrice, endodontie, prothèses, fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux

Dentisterie restauratrice, endodontie

DAUTEL Anne	Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
LE GOFF Anne	Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
TURPIN Yann-Loïc	Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
PERARD Matthieu	Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
LE CLERC Justine	Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
GASTINEAU Richard	Assistant hospitalier universitaire
NOËL Audrey	Assistant hospitalier universitaire
ARNAUD Marie-Pierre	Assistant hospitalier universitaire
JULIEN Pierre	Assistant hospitalier universitaire

Prothèses

BEDOUIN Yvan	Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
RAVALEC Xavier	Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
CHAUVEL Brice	Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
LEFRANCOIS Etienne	Assistant hospitalier universitaire
DESCLOS-THEVENIAU Marie	Assistant hospitalier universitaire
LECLERC Clément	Assistant hospitalier universitaire
LEGOUPIL Mikael	Assistant hospitalier universitaire

Fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux

CHAUVEL-LEBRET Dominique	Professeur des universités - Praticien hospitalier
MEARY Fleur	Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier
CATHELINEAU Guy	Professeur émérite
MELOU Caroline	Maître de conférences des universités (associé)

Section 41 : Sciences biologiques

SHACOORI Zohreh	Maître de conférences
------------------------	-----------------------

Section 65 : Biologie cellulaire

GAUTIER-COURTEILLE Carole	Maître de conférences (HDR)
----------------------------------	-----------------------------

1-sept.21

Remerciements du jury

Au Professeur Sorel Olivier, merci de m'avoir fait l'honneur de présider ma thèse. Merci également pour votre passion à former et à soutenir tous vos internes. Merci pour votre bonne humeur et votre humour « gaulois », comme vous l'appellez, qui créent une cohésion entre tous les internes. Si Rennes est enviée par toutes les autres facultés en France pour sa bonne ambiance, c'est avant tout grâce à vous.

Au Docteur Brézulier Damien, merci d'avoir accepté de diriger ma thèse. Merci d'avoir été si réactif et disponible dans des délais pourtant courts. Merci pour ta rigueur, ta pédagogie et ta patience. Merci de m'avoir expliqué tant de choses durant ces trois années d'internat. Ton énergie et ta dévotion t'amèneront là où tu le mérites. Je veux te témoigner ici toute ma gratitude.

Au Docteur Pottier Thomas, ces quelques lignes ne suffiront pas à exprimer toute ma gratitude. Si tu n'avais pas été là, cette thèse n'aurait simplement jamais existé. Merci d'avoir été comme un grand frère durant cet internat : prévenant, drôle, et un peu moqueur à certains moments, il faut l'avouer. Merci d'être si brillant, jovial, bienveillant tout en restant si humble. Merci pour toutes ces soirées passées ensemble, qui sont toujours synonymes de supers moments. La thèse est un exercice difficile mais elle m'a offert une belle récompense, celle de t'avoir comme ami proche.

Au Professeur Davit-Beal Typhaine, merci d'avoir accepté d'être dans mon jury de thèse. Je vous suis reconnaissant de vous intéresser à mon travail que je suis ravi de partager avec vous. Recevez ici toute ma gratitude.

Remerciements personnels

A Lou, merci d'être là chaque jour, si aimante, douce et prévenante. Merci de m'adresser autant de sourires et d'affection. Merci de prendre autant soin de moi. Merci de me donner en permanence l'envie de m'améliorer pour toi. Merci de me supporter quand je m'énerve de façon irrationnelle sur mon ordinateur car tout bugge. Merci de m'insuffler chaque matin la force pour avancer. Chaque minute avec toi est une chance, un moment complice empreint de bonheur. Merci de me donner le courage de quitter Rennes pour m'envoler avec toi vers d'autres cieux. Plus rien ne me paraît désormais inaccessible car j'ai réussi l'exploit le plus incroyable de ma vie en devenant ton compagnon. Je t'aime.

A mes parents, Maman et Papa, merci d'avoir été et d'être toujours des parents si attentionnés et aimants. Merci de m'avoir bercé de votre amour dès le premier jour, merci de m'avoir éduqué en me transmettant vos valeurs. Merci de m'avoir guidé dans la vie, Papa vers la dentisterie et Maman vers l'orthodontie. Merci d'avoir été et d'être encore de tels modèles. J'espère sincèrement qu'avec Lou nous réussirons à être des parents aussi merveilleux que vous. Mais vous avez mis la barre très haute, donc nous aurons encore besoin de vos conseils pour y parvenir.

A Sophie et Pauline, merci d'avoir été de telles grandes sœurs. Sophie, merci d'avoir toujours été douce et patiente (surtout lorsqu'il fallait m'expliquer les maths). Merci pour ta bonne humeur, ta jovialité, ton rire communicatif. Merci de m'avoir encouragé dans les moments difficiles. Merci d'avoir été si prévenante envers moi. Pauline, merci d'avoir été à l'écoute et protectrice. Merci d'avoir su garder le secret pour Lou et moi. Merci d'avoir été une adversaire acharnée lors de nos affrontements, ça forge le caractère. Merci de t'être toujours soucieuse de mon bien-être et de mon comportement. Merci à vous deux pour avoir toujours eu un œil sur moi.

A Clément, merci d'être un beau-frère aussi sympa et bienveillant. Merci de prendre autant soin de Pauline, de la faire rayonner chaque jour. Merci d'être aussi entreprenant, en proposant souvent des activités, afin de sortir un peu du quotidien. Ta venue dans la famille est une réelle chance.

A Auguste, bon à l'heure actuelle je ne te connais pas encore suffisamment pour te remercier précisément. Mais quand même, tu vas être un pansement pour nos parents lorsque Lou et moi allons décoller pour la Réunion, donc rien que pour ça je te dis merci.

A Papi, merci d'avoir été un grand-père si merveilleux. Merci de m'avoir tellement appris : à lire, à nager, à faire du vélo, ... Merci de t'être toujours démené pour offrir à tes petits-enfants des moments extraordinaires (dont les mémorables chasses aux trésors à Royan).

A Mamie Michelle, merci d'avoir été une grand-mère soucieuse du bonheur de ses petits-enfants. Merci d'avoir pris soin de moi dès ma plus tendre enfance. Merci pour ton investissement et tous les beaux moments que tu m'as offerts depuis que je suis né.

A Denis et Monique, merci de m'avoir réservé un accueil si chaleureux dans votre famille. Merci de m'avoir directement mis à l'aise, d'être aussi gentils et prévenants. Je suis ravi de savoir que je vais passer de beaux moments avec vous à la Réunion.

A Mona et Théo, merci d'avoir été si bienveillants dès notre première rencontre. Merci d'être toujours si enjoués, drôles et entreprenants. Merci d'avoir accepté de venir vous balader avec nous pour finalement ne voir qu'un pauvre tronc d'arbre. Merci pour tous ces moments passés ensemble, c'est toujours un grand plaisir de vous voir.

A Alisée, merci pour ton entrain et ton sourire permanent. Merci d'avoir apporté autant de bonne humeur durant ces deux ans d'internat passés en ta compagnie. Merci d'avoir été une oreille attentive lors de nos débuts avec Lou. Merci de m'avoir accordé autant de temps lorsque je galérais sur mes patients. Ta détermination et ton perfectionnisme exemplaires ont été une inspiration tout au long de mes études. Merci pour ta vivacité d'esprit, pour tes conseils, souvent avisés, parfois complètement débiles, et pour ton humour. Merci de revenir vivre en Bretagne un jour.

A Sticky, merci d'être un ami si dévoué. Merci pour ta sérénité à toute épreuve, ta gentillesse incommensurable et ton sourire permanent. Merci pour ton phrasé à part, dont toi seul détient le secret. Merci d'être souvent chaud dans l'idée. Merci d'être autant à l'ouest que moi, ça fait du bien d'être compris. Merci pour tous ces moments passés ensemble qui font de toi un ami hors du commun.

A Barthiz, merci d'avoir été mon colocataire à deux reprises. Merci pour ta gentillesse, pour ta jovialité et ta prévenance. Merci d'avoir toujours été un ami si fidèle. Merci pour les innombrables aventures et tous les bons souvenirs durant nos études. Merci pour tous ces moments du quotidien qui deviennent mémorables en un instant grâce à ton humour sans égal.

A Coach, merci d'être un ami si chaleureux, toujours souriant et dynamique. Merci d'être une oreille attentive à chacun de tes amis et de tout faire pour les aider. Merci de toujours te donner du mal pour organiser plein d'activités afin que l'on se retrouve tous ensemble. Merci d'être toujours là quand il faut. Merci de nous remémorer après chaque soirée nos mickeys, photos à l'appui.

A Gigi, merci d'être si fidèle à tes valeurs et surtout à tes amis. Merci pour tous tes conseils depuis notre rencontre. Merci de m'avoir écouté et encouragé à aller vers Lou. Merci pour ton humour noir, ta gentillesse et ta sensibilité. Merci d'être aussi empathique et de te réjouir pour le bonheur de tes proches. Merci de rentrer en France un jour afin que l'on puisse poursuivre au quotidien cette belle amitié.

A Brigitte, merci pour ta gentillesse et ta prévenance. Merci de m'avoir toujours soutenu sur chacune de mes décisions. Merci pour ton humour grinçant, pour ta fausse nonchalance qui masque une émotivité forte. Merci d'être, avec Gigi, un couple d'amis si agréable à côtoyer.

A Marie Rabat-Joie, merci d'être toujours aussi énergique et souriante. Merci d'être une amie fidèle, drôle et très prévenante. Merci d'avoir toujours des petites attentions pour chacun et d'être si généreuse. Merci de, finalement, n'être pas si rabat-joie que ça.

A Riri, merci d'être toujours la même, fidèle à tes principes. Merci d'être si disponible pour tes amis, toujours de bonne humeur. Merci pour ton humour pinçant et un peu perché. Merci pour tes conseils avisés et pour ton indépendance d'esprit.

A Vianns, merci pour ta gentillesse et ta bonhomie naturelle. Merci d'être toujours énergique et motivé pour tout. Merci d'être toujours prêt à rendre service. Merci pour tous ces bons moments passés ensemble.

A Brics, merci d'être toujours le même. Merci pour ta spontanéité surprenante, pour tes réflexions philosophiques dignes de Matthieu Ricard. Merci pour ta jeunesse qui ne s'est jamais complètement faite.

A Maitre, merci pour ta jovialité et ta bonté. Merci pour ton humour, pour tes imitations, et pour être tout le temps motivé pour tout, surtout pour la connerie. Merci d'être un ami fidèle. Merci également pour tes expériences capillaires parfois réussies, parfois moins.

A Mouchy, merci pour ta bonne humeur permanente et ta curiosité sans égale. Merci de m'avoir ouvert l'esprit musicalement. Merci de toujours tenter des trucs, avec plus ou moins de réussite, qui marquent les esprits.

Aux reines du Pubgall, Alex, Caro et Hélène, merci pour votre jovialité et vos rires permanents. Merci pour votre compagnie si agréable, votre énergie folle et vos blagues continues. Merci pour vos esprits si festifs et chaleureux. Chaque moment passé avec vous est un cadeau.

Aux 3 fantastiques :

Chaton, merci pour ta jovialité et ta sérénité à toute épreuve. Merci pour ton ultracrépitarianisme et tes benhamorades. Merci de toujours être une oreille attentive, dans les bons moments comme dans les mauvais. Merci pour ton humour, ton auto-dérision et ta bienveillance.

Keke, merci d'avoir toujours été attentif au moral de tes cointernes. Merci d'être toujours disponible et de te soucier autant des autres. Merci d'avoir géré toute l'organisation entre tes cointernes alors que c'était un sacré bordel. Merci pour ton humour, tes moqueries, et ta sagesse en tant que doyen des internes (non je déconne).

Guigui, merci pour ton énergie folle, ton impulsivité et tes punchlines dont certaines auront vraiment marqué cet internat. Merci d'être toujours prêt à rendre service. Merci d'être toujours le dernier à être au courant de tout, alors qu'on te l'a dit cent fois. Merci pour ta bonne humeur et ton caractère un peu rebelle.

A Anas, merci pour ton humour, ta sensibilité, ton énergie dévorante qui traverse les murs. Merci d'être si prévenante et généreuse avec tes amis. Merci d'avoir toujours été une oreille très attentive et une amie pleine de bons conseils. Merci de conserver tes principes et tes valeurs.

A Christelle, merci pour cette super année passée ensemble. Merci d'avoir toujours la pêche, toujours souriante et de bonne humeur. Merci d'être aussi altruiste, toujours prête à aider les autres et en particulier tes amis, même à 8h du matin le samedi quand la clio est déchargée. Je te souhaite beaucoup de bonheur avec Chaton.

A Max, merci pour l'énergie que tu as dépensée pour notre intégration dans le service. Merci pour l'organisation de tous ces apéros et de toutes ces soirées qui nous faisaient un peu oublier le travail. Merci pour ton rire communicatif et toutes tes espiègleries durant cette année passée ensemble.

A Adam, merci pour ta bonne humeur tout au long de cet internat. Merci d'être tellement dans la lune que j'ai l'impression d'être terre-à-terre à côté de toi. Je te souhaite le meilleur pour toi et ta famille.

A Apolline, merci d'avoir apporté de la sagesse dans un service de fous. Merci pour ton humour et ton second degré permanent. Je te souhaite une belle fin d'internat.

A Astrid et Éléonore, Merci de prendre notre suite. Je vous souhaite une bonne continuation. Soyez aussi comblées que nous l'avons été.

A Camille, merci de m'avoir expliqué patiemment les bases de l'orthodontie alors que je ne comprenais vraiment rien. Merci pour ta bonne humeur chaque mardi après-midi, entre 14h et 16h30. Merci d'être si naturelle, gentille et drôle. C'est toujours un plaisir de te revoir.

A Beybeur, merci de nous avoir appris patiemment à plier alors que tu étais entouré de manchots. Merci de prendre de ton temps chaque année pour former les internes. Merci pour ton humour décapant, ton authenticité et ta bienveillance. Merci d'avoir conservé ton âme d'enfant. Merci d'avoir sacrifié ton Iphone pour préserver notre meuble de salon.

A Marie, merci de nous avoir autant formés durant cet internat. Merci pour ta patience et tes nombreuses explications alors que tu étais entourée de sous-doués. Merci pour ta gentillesse, ta bienveillance envers tout le service. Merci de nous avoir fait recoller en moyenne 15 brackets par patient. Merci pour ces trois années, heureusement que tu étais là.

A Mohammed, merci pour tes entraînements et tes encouragements durant nos TP de pliage. Merci d'avoir presque réussi à nous faire croire que l'on était bon. Merci pour ta bonne humeur permanente. Merci pour ton empathie envers les internes, d'être toujours soucieux du bien-être de chacun. Merci pour tous tes conseils avisés, ta présence dans le service va manquer.

Au Docteur Florence Tamine : Merci de la confiance dont tu fais preuve envers moi. Merci de m'avoir confié tes patients. Merci pour tous ces bons moments de covoiturage, avec de nombreuses histoires rocambolesques.

Au prothésiste et informaticien Julien Lambert : merci d'avoir été aussi disponible durant cette thèse. Merci de m'avoir apporté ton expertise, et d'avoir été aussi motivé pour ces expérimentations durant ces quelques mois. Merci aussi pour ton humour et ta gentillesse tout au long de mes études. Je veux t'exprimer ici toute ma sympathie et ma reconnaissance.

Table des matières

Introduction	14
1 Matériels et méthodes	16
1.1 Conception du modèle de simulation	16
1.2 Fabrication des modèles de simulation	17
1.3 Conception et fabrication du guide chirurgical	17
1.4 Réalisation des travaux pratiques.....	18
1.5 Acquisition et mesures des données.....	19
1.6 Organigramme de l'étude.....	21
1.7 Analyse statistique	22
1.7.1 Détermination du nombre de sujets nécessaires.....	22
1.7.2 Analyse de la répétabilité des mesures	22
1.7.3 Analyse du champ d'application.....	22
1.7.4 Analyse statistique	23
2 Résultats	24
2.1 Analyse de la répétabilité des mesures	24
2.2 Précision globale du guide	24
2.3 Reproductibilité inter-opérateurs.....	24
2.4 Type d'erreurs de positionnement	25
2.5 Détermination du champ d'application	26
2.5.1 Sens sagittal	26
2.5.2 Sens vertical	26
2.5.3 Champ d'application global.....	27
3 Discussion.....	27
4 Conclusion	29
5 Bibliographie.....	31
6 Annexe	36

Introduction

La gestion de l'ancrage est cruciale en orthodontie. Elle assure des déplacements limités à certaines dents et immobilise les autres. Les dispositifs conventionnels (arc transpalatin, pastille de Nance, ...), souvent mal tolérés par les patients, n'assurent qu'un ancrage partiel (1,2).

L'introduction des dispositifs d'ancrage temporaire (TADs) a radicalement changé la pratique. Ils facilitent les traitements orthodontiques en offrant une efficacité supérieure à celle des dispositifs conventionnels (3–5) tout en s'affranchissant de la coopération des patients. Les plus connus sont les mini-vis (MV), décrites pour la première fois à la fin des années 90.

Les MV sont en acier ou en titane (6,7). Ces ancrages fixes sont positionnables dans de nombreux sites : espaces alvéolaires inter-radiculaires, corticale palatine, tubérosité maxillaire... (8,9) La stabilité primaire des MV dépend de la qualité de la corticale implantée (10). C'est elle qui permettra la mise en charge immédiate. À terme, l'état de surface lisse des MV est responsable d'une ostéo-intégration partielle (11,12).

Dans la biomécanique orthodontique, un ancrage est dit direct lorsqu'un élément élastique est appliqué entre la MV et une ou plusieurs dents afin de les déplacer. À l'inverse, l'ancrage est dit indirect lorsque la MV est connectée à un groupe de dents par un élément rigide, renforçant ainsi leur unité d'ancrage (13,14).

Toutefois, divers paramètres influencent le taux de succès des MV, menant à des complications ou des échecs immédiats ou différés (15).

A ce titre, la qualité du site d'implantation est un facteur prédominant (16,17). Elle est déterminée à deux niveaux :

- le premier est gingival : hauteur de gencive attachée, inflammation gingivale, brides musculaires ;

- le second est osseux : épaisseur et densité de la corticale, distance inter-radiculaire, morphologie radiculaire (18).

L'inspection visuelle des tissus mous est réalisée directement. Par contre, l'évaluation osseuse se fait par radiographie.

Le choix des caractéristiques intrinsèques de la vis résulte de cet examen. La longueur doit assurer une profondeur intra-osseuse de 6mm minimum (19). Une section importante augmente la résistance à la flexion et à la torsion (20).

Les complications immédiates les plus fréquentes sont : perforations radiculaires, atteintes du ligament alvéolo-dentaire, douleurs, lésions sinusiennes, communications bucco-nasales, fractures de la vis (21,22). Toutes ces complications sont source d'inconfort pour l'orthodontiste lors de la mise en place des MV (23).

Pour contenir ce paramètre, l'utilisation de guides chirurgicaux a été proposée. Initialement réalisés à l'aide d'un fil d'acier servant de repère visuel sur une radiographie (24), ils sont aujourd'hui beaucoup plus perfectionnés. A l'instar de l'utilisation du cone beam (CBCT) en chirurgie implantaire (25), des volumes limités à quelques dents sont radiographiquement exploités pour planifier précisément la mise en place des MV. En complément et grâce à l'évolution des technologies de conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO) (26), il est désormais possible de concevoir des pièces tridimensionnelles, véritables guides de positionnement, à partir des données radiographiques (27,28).

L'objectif principal de cette étude *in-vitro* est d'évaluer la fiabilité du positionnement de MV à l'aide d'un guide conçu et imprimé « *in office* ». L'objectif secondaire est de comparer la reproductibilité de positionnement des MV entre les deux opérateurs débutants.

1 Matériels et méthodes

1.1 Conception du modèle de simulation

Les données provenaient du dossier d'un patient en cours de traitement. Le dossier médical contenait des modèles numériques (fichiers .stl) et un CBCT (fichiers DICOM) maxillaire (Figure 1).

A partir de ce matching, les racines de deux prémolaires adjacentes ont été individualisées, générant deux autres fichiers .stl. La fusion des trois fichiers aboutissait à un unique fichier .stl comportant la surface de l'arcade maxillaire et deux racines (Figure 2).

Pour concevoir les modèles, le fichier a été segmenté sur le logiciel Meshmixer® (Autodesk) pour ne conserver que les dents supports du guide chirurgical. La surface palatine au regard des prémolaires a été rognée pour assurer un accès visuel direct à l'extrémité de la MV. Le modèle de simulation ainsi créé était fusionné avec le fichier .stl d'une plaque de montage de simulateur fantôme (Figure 3).

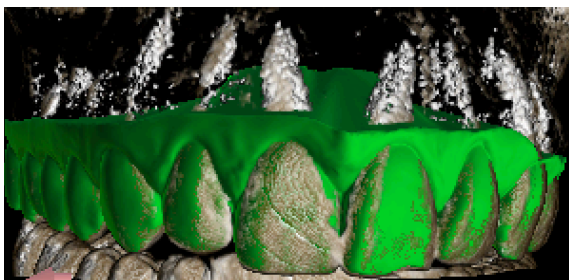


Figure 1 : Superposition des modèles

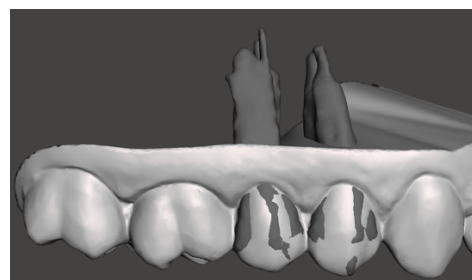


Figure 2 : Fichier .stl avec racines de prémolaires

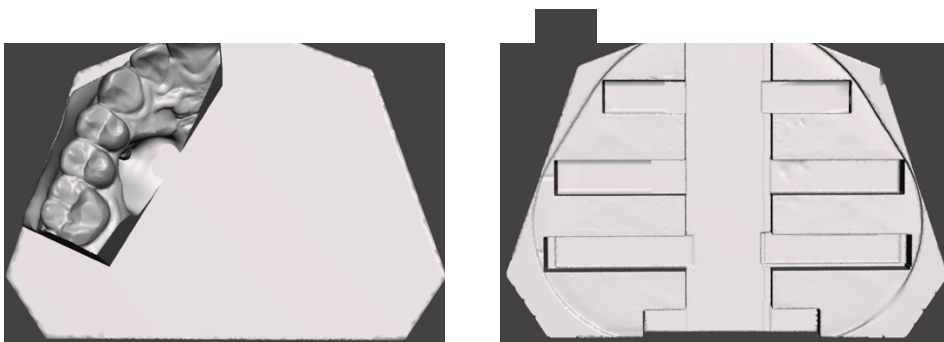


Figure 3 : Modèle d'étude

1.2 Fabrication des modèles de simulation

Quarante modèles 3D ont été imprimés en ABS couleur ivoire (Z-ULTRAT, Zortrax) grâce à une imprimante filaire Zortrax m200® équipée d'une buse de 0,4mm (Figure 4). La densité de remplissage était de 20% associée à une épaisseur de couche de 190µm.

Chaque modèle a ensuite été scanné et comparé au fichier numérique initial avec le logiciel GOM Inspect pour vérifier la précision de l'impression (Figure 5).



Figure 4 : Imprimante 3D filaire Zortrax m200®

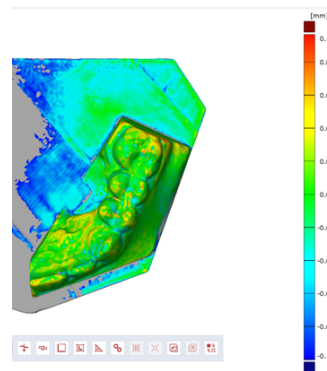


Figure 5 : Superpositions des modèles numérique et scanné

1.3 Conception et fabrication du guide chirurgical

Le fichier .stl d'une vis RMO® a été positionné entre les deux prémolaires individualisées dans une situation jugée comme idéale. A partir de cette simulation, un guide chirurgical a été modélisé sur Meshmixer® (Figure 6). Brièvement, il se composait d'une coque d'une épaisseur de 2mm recouvrant les faces visibles des dents, de l'incisive centrale à la première molaire maxillaire à laquelle était associé un tube de guidage du mandrin. Ce dernier reproduisait l'axe de la MV et son diamètre était très légèrement supérieur à celui du mandrin, soit 4,65mm pour un diamètre de mandrin de 4,5mm.

Quatre exemplaires du guide étaient ensuite conçus (Figure 7). Ils étaient imprimés avec une résine biocompatible DS3000 sur une imprimante 3D SLA XFAB 2500 PD® (DWS) (Figure 8).

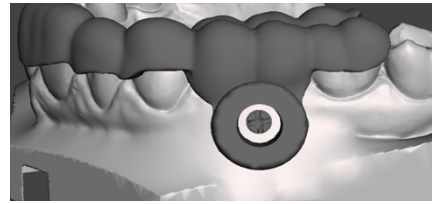
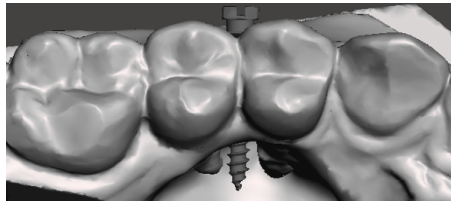


Figure 6 : Insertion de la vis numérique et modélisation du guide chirurgical



Figure 7 : Guide chirurgical imprimé

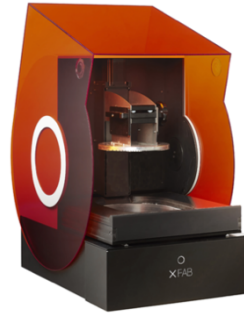


Figure 8 : Imprimante 3D SLA XFAB 2500 PD

1.4 Réalisation des travaux pratiques

Les modèles de travail ont été mis en place sur des simulateurs dentaires Frasaco appartenant à la faculté d'odontologie de Rennes. Deux internes en première année du D.E.S d'orthopédie dento-faciale de Rennes, n'ayant aucune expérience avec la pose de minivis orthodontiques, ont été recrutés comme opérateurs.

Il leur a été demandé de poser une MV par modèle à l'aide du guide chirurgical et d'un contre-angle manuel (Dual Top, RMO) (Figure 9). Un total de 40 minivis a été posé.

Chaque modèle avec vis en place a ensuite été scanné (3ShapeE4) (Figure 10). Chaque MV a été préalablement recouverte d'une poudre de dioxyde de titane CEREC Optispray (SIRONA) dans le but de limiter la réflexion de la lumière lors du scan.



Figure 9 : Mise en place d'une MV à l'aide d'un guide chirurgical



Figure 10 : Scanner 3Shape E4

1.5 Acquisition et mesures des données

Pour comparer la position des vis posées grâce aux guides chirurgicaux par rapport à la planification, le logiciel de métrologie GOM Inspect a été employé. Le protocole de mesure était établi à partir d'une précédente étude réalisée au C.H.U. (29).

Brièvement, une première étape de recalage tridimensionnel était effectuée par un pré-alignement automatique puis par un ajustement local centré sur les faces occlusales de chaque dent. Dans une deuxième étape, un système de coordonnées locales par technique « 3-2-1 » (plan-droite-point) était réalisé sur chaque MV :

- Plan : trois points placés sur les faces occluso-mésiale, occluso-distale et gingivo-mésiale des têtes des MV ;
- Droite : deux points placés, un en mésial de la gorge horizontale de la minivis, le deuxième en distal de cette même gorge ;
- Point : un point placé sur le centre de la tête de minivis (Figure 11).

Les déplacements linéaires sur les axes x, y et z et les déplacements angulaires $\theta(y)$ et $\psi(z)$ étaient évalués comme suit :

- x, insertion vestibulo-palatine de la vis (en mm) : une valeur négative indiquait une profondeur moindre par rapport au maître modèle ;
- y, position verticale (occluso-gingivale) de la vis (en mm) : une valeur positive indiquait une position plus gingivale ;

- z, position sagittale (mésio-distale) de la vis (en mm) : une valeur positive indiquait une position plus mésiale ;
- The(Y), angulation mésio-distale de la vis (en degrés) : une valeur positive indiquait une orientation plus distale de l'apex de la vis ;
- Psi(Z), angulation gingivo-distale de la vis (en degrés) : une valeur négative indiquait une orientation plus occlusale de l'apex de la vis (Figure 12).

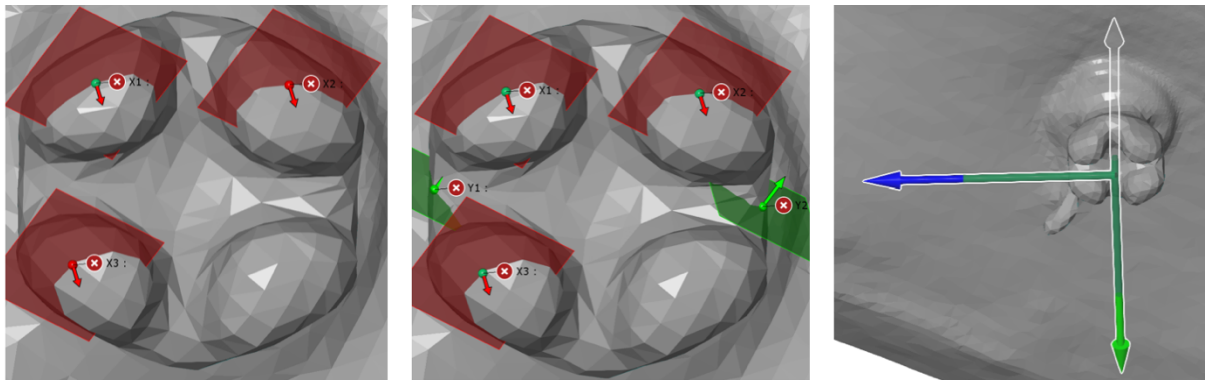


Figure 11 : Application d'un système de coordonnées en technique 3-2-1

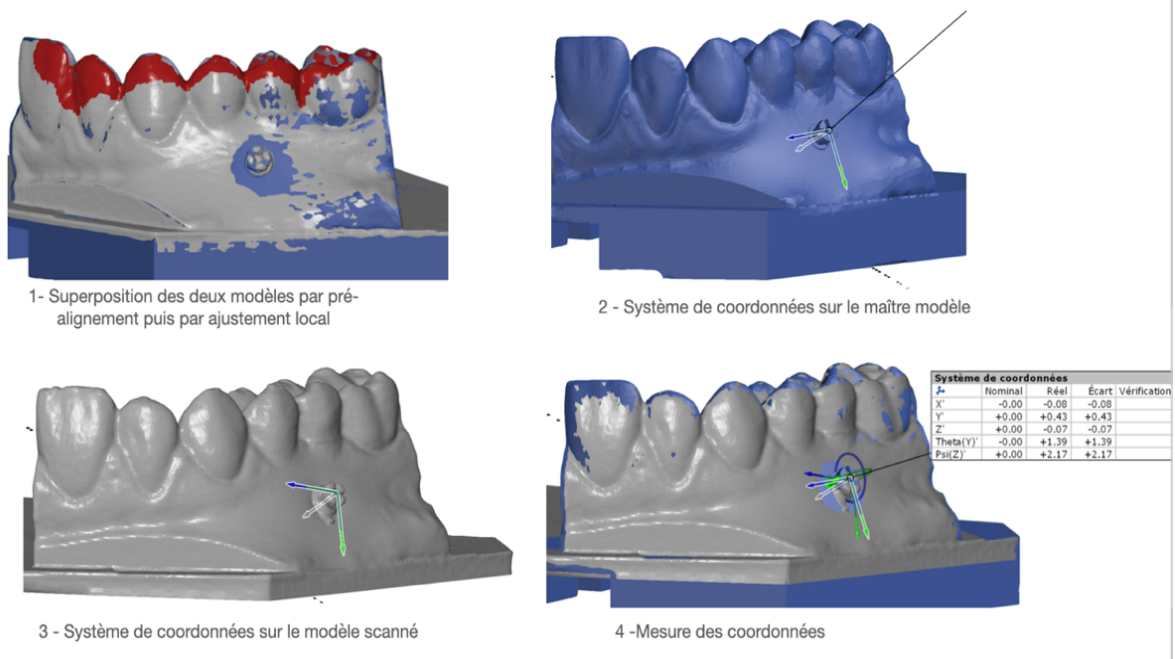
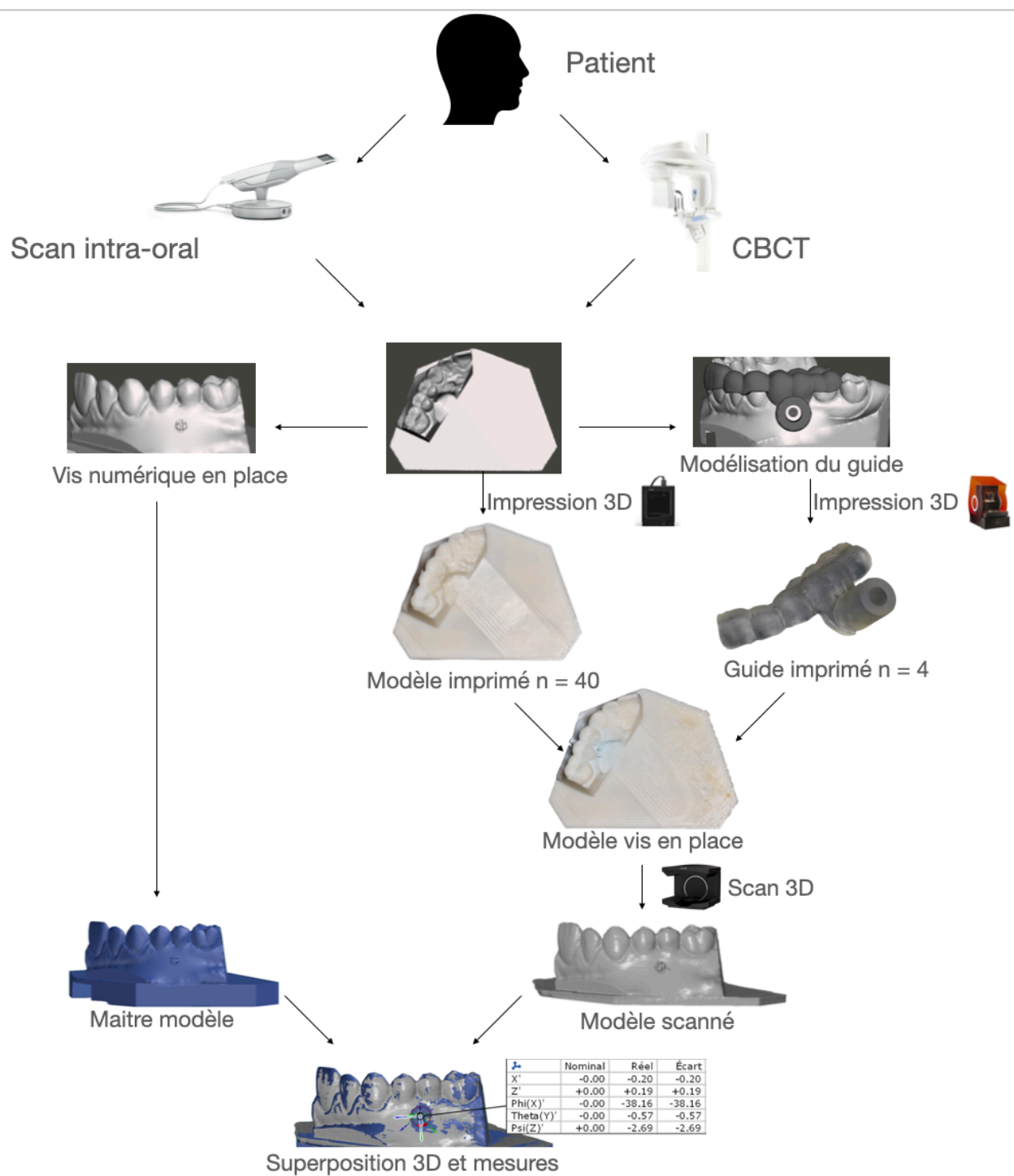


Figure 12 : Comparaison des modèles en technique 3-2-1

1.6 Organigramme de l'étude



1.7 Analyse statistique

1.7.1 Détermination du nombre de sujets nécessaires

Avec 40 mesures, un calcul de puissance pour les tests t non appariés effectué à l'aide de l'outil statistique G*Power (version 3.1.9.4), indiquait une puissance de 92 % pour détecter un effet de taille modérée (d de Cohen = 0,50) à un niveau de signification de 0,05.

1.7.2 Analyse de la répétabilité des mesures

L'erreur de mesure intra-examineur a été évaluée par le coefficient de corrélation de Lin sur quatre séries de cinq mesures effectuées à sept jours d'intervalle.

1.7.3 Analyse du champ d'application

Afin de déterminer le champ d'application de la MV, les valeurs absolues les plus extrêmes de translation et d'angulation sagittale et verticale ont été recueillies. Brièvement, la MV pouvait décrire au maximum une translation « a » dans les plan x , y et z , associée respectivement à un balayage d'un angle α (correspondant à $\Theta(y)$ ou $\Psi(z)$ selon le plan).

Par approximation, la portion de disque couverte par le mouvement de balayage a été assimilée à un triangle isocèle dont la base de longueur « b » correspondait à la corde de la portion de cercle décrit par la pointe de la MV. La longueur « b » était aussi l'hypoténuse d'un triangle rectangle de grand côté « c ».

Par trigonométrie il était alors possible de déterminer la distance séparant les positions théoriques les plus extrême de positionnement de la MV dans chaque plan (*cf Annexe*). Cette distance était le double des sommes des distances « a » et « c » (Figure 13).

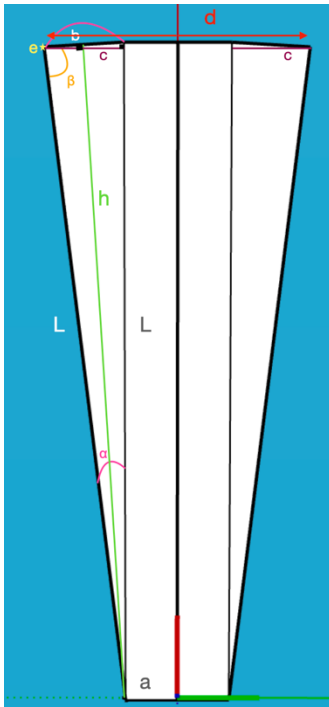


Figure 13 : Schéma 2D du champ d'application de la MV

1.7.4 Analyse statistique

Les données ont été recueillies dans un tableur Excel. Les données sont recueillies en x , y , z , $\text{The}(y)$, $\text{Psi}(z)$ en valeur absolue et en valeur relative. La précision du positionnement par rapport à la planification a été évaluée en comparant les valeurs absolues d'erreur de positionnement à 0 par le test t de Student, après avoir testé l'égalité des variances et la normalité des distributions. Les différences de positionnement entre opérateurs ont été analysées par un test t de Student dans les mêmes conditions préalables.

Le type d'erreur de positionnement est décrit à l'aide des valeurs relatives d'erreur de positionnement par rapport à la planification. Leur répartition a été comparée entre les opérateurs par un test de Fisher.

L'analyse statistique a été réalisée avec RStudio version 1.2.5001 (RStudioTeam) avec R 3.6.1 (RCore Team). Les valeurs $P \leq 0,05$ ont été considérées comme significatives.

2 Résultats

2.1 Analyse de la répétabilité des mesures

La répétabilité des mesures en x, y, z, The(y) et Psi(z) était très bonne. Le coefficient de corrélation de Lin était de 0,934.

2.2 Précision globale du guide

Cette première étape visait à quantifier les erreurs de positionnement des MV insérées avec le guide en comparaison à la planification. Sur un échantillon de 40 minivis, deux ont été perdues à cause d'une erreur de manipulation, en laissant 38 à étudier.

Le positionnement des MV différait pour toutes les mesures de la planification ($p < 0,001$). En moyenne, l'erreur de positionnement linéaire était de $0,26 \pm 0,22$ à $0,41 \pm 0,31$ mm. Pour les mesures angulaires, elle était comprise entre $2,72 \pm 1,78^\circ$ dans le sens sagittal et $3,89 \pm 2,31^\circ$ dans le sens vertical (Tableau 1).

2.3 Reproductibilité inter-opérateurs

Dans un second temps, la reproductibilité de positionnement des MV entre deux opérateurs a été testée. Ni la profondeur d'enfoncement, ni la hauteur de positionnement, ni le positionnement sagittal, ni les angulations sagittales et verticales ne différaient selon l'opérateur. Le positionnement des vis était donc comparable entre les deux opérateurs.

Variable	Opérateur			p-value ²
	Total, N = 38 ¹	#1, N = 19 ¹	#2, N = 19 ¹	
Profondeur (mm)	0.41 ± 0.31	0.37 ± 0.27	0.45 ± 0.34	0.45
Vertical (mm)	0.26 ± 0.24	0.32 ± 0.27	0.21 ± 0.19	0.18
Sagittal (mm)	0.26 ± 0.22	0.32 ± 0.23	0.20 ± 0.20	0.11
Angulation Sagittale (°)	2.72 ± 1.78	2.63 ± 1.74	2.80 ± 1.86	0.77
Angulation Verticale (°)	3.89 ± 2.31	4.14 ± 2.72	3.64 ± 1.86	0.51

¹ Mean $\pm$ SD
² Two Sample t-test

Tableau 1 : Valeurs moyennes de position et d'angulation de la MV

2.4 Type d'erreurs de positionnement

Un troisième temps évaluait le type d'erreur de positionnement. Les MV n'étaient pas assez enfoncées (n = 34 ; 89%), situées trop occlusales (n = 27 ; 71%) et trop distales (n = 23 ; 61%). Les angulations des MV étaient en majorité trop distales (n = 27, 71%) et occlusales (n = 28, 74%) (Tableau 2).

L'analyse des erreurs de positionnement entre les deux opérateurs ne révélait aucune différence significative.

Variable	Opérateur			p-value ²
	Total, N = 38 ¹	#1, N = 19 ¹	#2, N = 19 ¹	
Profondeur (mm)				>0.9
Buccal	34 (89%)	17 (89%)	17 (89%)	
Lingual	4 (11%)	2 (11%)	2 (11%)	
Vertical (mm)				0.2
Gingival	11 (29%)	3 (16%)	8 (42%)	
Occlusal	27 (71%)	16 (84%)	11 (58%)	
Sagittal (mm)				>0.9
Distal	23 (61%)	12 (63%)	11 (58%)	
Mésial	15 (39%)	7 (37%)	8 (42%)	
Angulation sagittale (°)				>0.9
Distal	27 (71%)	14 (74%)	13 (68%)	
Mésial	11 (29%)	5 (26%)	6 (32%)	
Angulation Verticale (°)				0.3
Gingival	10 (26%)	3 (16%)	7 (37%)	
Occlusal	28 (74%)	16 (84%)	12 (63%)	

¹ n (%)

² Fisher's exact test

Tableau 2 : Erreurs de positionnement de la MV

2.5 Détermination du champ d'application

2.5.1 Sens sagittal

En prenant en compte l'association d'un déplacement sagittal maximum de 0,76mm et d'un balayage de $6,75^\circ$, l'apex de la vis décrivait une longueur approximative de 4,92mm dans le sens sagittal (Figure 14).

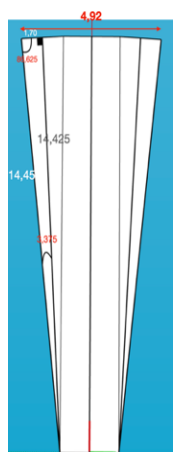


Figure 14 : Schéma du champ s'application des MV dans le sens sagittal

2.5.2 Sens vertical

La même démarche était appliquée. La valeur la plus élevée de Y était de 0,96mm, la valeur de $\Psi(Z)$ était de $11,59^\circ$. Le côté b obtenu était de 2,84 mm, le côté c de 2,82mm. L'apex de la vis balayait une longueur d'environ 7,58mm (Figure 15).

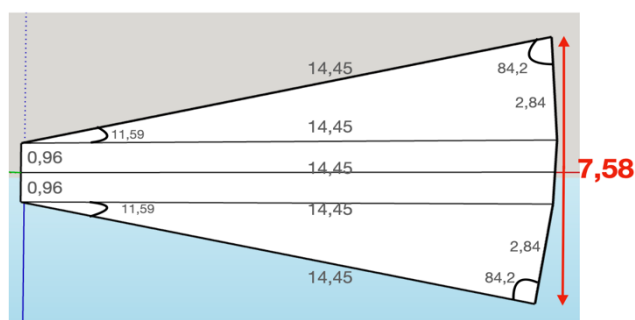


Figure 15 : Schéma du champ d'application des MV dans le sens vertical

2.5.3 Champ d'application global

Le champ d'application global du guide était ainsi déterminé (Figure 16).

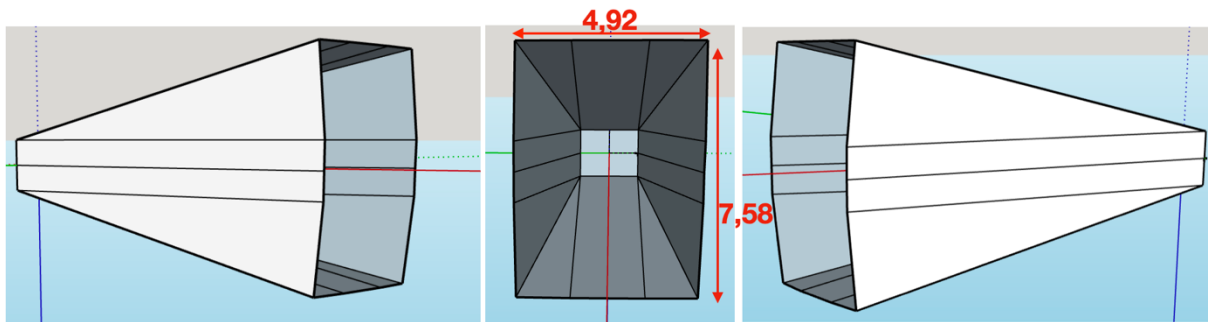


Figure 16 : Schéma du champ d'application global de la MV

3 Discussion

L'apparition des dispositifs d'ancrage temporaires (TADs) a révolutionné l'orthodontie contemporaine. Les MV offrent un ancrage quasiment absolu aux orthodontistes, mais leur implantation peut s'avérer risquée. La pose conventionnelle d'une MV à main-levée ou à l'aide d'un guide conventionnel en acier a une précision limitée. Le taux de succès d'une MV correspond à sa capacité à être maintenue sur l'arcade jusqu'à la fin de la phase requérant l'ancrage. Il est d'environ 85% pour les MV inter-radicaux. L'évolution récente des technologies permet une analyse informatique individuelle de l'anatomie dentaire et tissulaire. À l'image de la chirurgie implantaire, le développement de la CFAO offre la possibilité de planifier numériquement la pose d'une MV et de la retranscrire cliniquement par l'intermédiaire d'un guide imprimé en 3D. L'objectif de cette étude était d'évaluer la précision de guides chirurgicaux de positionnement de MV « *in-office* ». L'objectif secondaire était de comparer la reproductibilité de positionnement des MV entre deux opérateurs débutants. À notre connaissance, il s'agit de la première étude évaluant la précision de guides chirurgicaux « *in-office* » intégralement constitués de résine.

Les modèles imprimés devaient être reproductibles entre eux et identiques au modèle numérique initial. Ces paramètres sont respectivement décrits par la norme ISO sous les termes de « *trueiness* » et « *precision* » (30). La technique d'impression par *Fused Deposition Modeling* (FFF) est fiable pour ces deux paramètres (31). Elle a donc été retenue pour l'impression des modèles d'étude. Une étude préliminaire basée sur la reproductibilité des

impressions au modèle numérique initial le confirme (données non montrées). Également, la résine ABS et les paramètres de porosité utilisés autorisaient le placement manuel des MV. Le guide chirurgical a été imprimé par *stereolithograph apparatus* (SLA), reconnue pour sa « *precision* » élevée (32).

La réalisation des travaux pratiques sur simulateur a permis de s'approcher de la réalité clinique. Cette étude a révélé que le guide chirurgical permettait de limiter les atteintes des racines dentaires, sans toutefois s'en affranchir complètement. En effet, dans le plan sagittal, le champ d'application de 4,92mm était supérieur à la distance inter-radicaire de 2,8mm. Ce calcul théorique mettait en évidence, par une combinaison d'extrêmes, le risque de lésion radicaire lors de l'implantation d'une MV de 12mm dans une situation simulant une zone délicate, entre deux prémolaires proches et parallèles. Les choix pris ici avaient pour but de rendre la situation la plus péjorative possible. Il est rare d'indiquer cette dimension de MV dans un espace aussi réduit. La littérature propose de recourir à des longueurs de MV comprise entre 6 et 10 mm, ce qui mathématiquement diminue le champ d'application (33,34).

Les positionnements sagittaux et verticaux des MV étaient significativement différents de la planification. Ils restaient cependant cliniquement acceptables. Il en était de même pour les angulations sagittale et verticale. La plus grande divergence par rapport à la planification concernait la profondeur. L'anatomie du guide n'offrait pas de contrôle visuel sur ce paramètre et pourrait être incriminée. La réalisation d'une fenêtre dans le tube de guidage parerait ce problème au prix d'une fragilité accrue de ce dernier, conduisant facilement à une fracture. Pour autant, il est à noter que la dextérité de l'opérateur n'influçait pas le positionnement des MV.

Une étude sur cadavres recourant à des guides similaires montre des résultats comparables avec pour seule différence la réalisation de pré-forages : 0,29mm en sagittal et de 0,35mm en vertical (35). Pour améliorer la précision du guide, certains auteurs préconisent l'ajout de douilles métalliques comme guide de forage (36). Cette technique avec une précision de $0,15 \pm 0,09$ mm en sagittal et de $0,19 \pm 0,19$ mm en vertical, et des déviations angulaires de $1,47 \pm 0,92^\circ$ en sagittal et $2,13 \pm 1,48^\circ$ en vertical, n'améliore que peu les résultats comparés au guide utilisé dans ce protocole. Ces résultats sont confirmés par la littérature (37). Les MV

étant autoforantes et autotaraudantes, ces résultats montraient que le pré-forage était superflu tout comme l'ajout d'une douille métallique.

Les MV étaient majoritairement trop occlusales et d'angulation trop distale. Les différences verticales s'expliquaient par le soulèvement du guide lié la rotation du mandrin lors de la pose. Un appui digital continu de l'opérateur sur le guide pendant l'intervention était donc nécessaire. La déviation sagittale s'expliquerait par le fait que les opérateurs étant droitiers, ils auraient tendance, côté droit, à ramener le manche du tournevis vers eux, mais aussi par la pression exercée par la joue synthétique du fantôme dentaire qui déporteraient le mandrin en mésial.

La précision intrinsèque du guide chirurgical était perfectible. Une accumulation de faibles imprécisions survient durant les étapes du processus de fabrication d'un guide : empreinte numérique ou radiographie tridimensionnelle, conversion du fichier DICOM en fichier .stl... A cela s'ajoutent également les erreurs lors de l'impression des modèles et/ou du guide chirurgical (38,39).

4 Conclusion

Le recours aux guides réalisés « in office » par CFAO offrent la possibilité à un opérateur inexpérimenté d'implanter précisément une MV. Le guide chirurgical permet une diminution des complications per-opératoires et des risques sans s'en affranchir totalement :

- Pour une MV de 12 mm, les champs d'application sagittaux et verticaux étaient de 4,92mm et 7,58mm.
- Il n'y avait pas de différence de placement des MV entre les opérateurs.
- Les divergences de positionnement par rapport à la planification restaient inférieures à 0,5 mm et 4°.
- Les MV étaient majoritairement trop occlusales et distales.

5 Bibliographie

1. Diar-Bakirly S, Feres MFN, Saltaji H, Flores-Mir C, El-Bialy T. Effectiveness of the transpalatal arch in controlling orthodontic anchorage in maxillary premolar extraction cases: A systematic review and meta-analysis. *The Angle Orthodontist*. 9 août 2016;87(1):147-58.
2. Bondemark L, Thornéus J. Anchorage Provided During Intra-arch Distal Molar Movement: A Comparison Between the Nance Appliance and a Fixed Frontal Bite Plane. *The Angle Orthodontist*. 1 mai 2005;75(3):437-43.
3. Xu Y, Xie J. Comparison of the effects of mini-implant and traditional anchorage on patients with maxillary dentoalveolar protrusion. *The Angle Orthodontist*. 29 sept 2016;87(2):320-7.
4. Antoszewska-Smith J, Sarul M, Łyczek J, Konopka T, Kawala B. Effectiveness of orthodontic miniscrew implants in anchorage reinforcement during en-masse retraction: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 mars 2017;151(3):440-55.
5. Liu Y, Yang Z, Zhou J, Xiong P, Wang Q, Yang Y, et al. Comparison of Anchorage Efficiency of Orthodontic Mini-implant and Conventional Anchorage Reinforcement in Patients Requiring Maximum Orthodontic Anchorage: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Evidence Based Dental Practice*. 1 juin 2020;20(2):101401.
6. Brown RN, Sexton BE, Gabriel Chu T-M, Katona TR, Stewart KT, Kyung H-M, et al. Comparison of stainless steel and titanium alloy orthodontic miniscrew implants: A mechanical and histologic analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 avr 2014;145(4):496-504.
7. Costa A, Raffaini M, Melsen B. Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*. 1998;13(3):201-9.
8. Hourfar J, Bister D, Kanavakis G, Lisson JA, Ludwig B. Influence of interradicular and palatal placement of orthodontic mini-implants on the success (survival) rate. *Head Face Med*. 14 juin 2017;13:14.
9. Lima A, Domingos RG, Cunha Ribeiro AN, Rino Neto J, de Paiva JB. Safe sites for

orthodontic miniscrew insertion in the infrazygomatic crest area in different facial types: A tomographic study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 janv 2022;161(1):37-45.

10. Migliorati M, Benedicenti S, Signori A, Drago S, Barberis F, Tournier H, et al. Miniscrew design and bone characteristics: An experimental study of primary stability. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 août 2012;142(2):228-34.

11. Eliades T, Zinelis S, Papadopoulos MA, Eliades G. Characterization of retrieved orthodontic miniscrew implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 janv 2009;135(1):10.e1-10.e7.

12. Vande Vannet B, Sabzevar MM, Wehrbein H, Asscherickx K. Osseointegration of miniscrews: a histomorphometric evaluation. *The European Journal of Orthodontics*. 1 oct 2007;29(5):437-42.

13. Holberg C, Winterhalder P, Holberg N, Rudzki-Janson I, Wichelhaus A. Direct versus indirect loading of orthodontic miniscrew implants—an FEM analysis. *Clin Oral Invest*. 1 nov 2013;17(8):1821-7.

14. Melsen B, Dalstra M. L'ancrage squelettique au passé, présent et futur. *Orthod Fr*. mars 2017;88(1):35-44.

15. Kravitz ND, Kusnoto B. Risks and complications of orthodontic miniscrews. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 avr 2007;131(4, Supplement):S43-51.

16. Lee D-W, Park JH, Bay RC, Choi S-K, Chae J-M. Cortical bone thickness and bone density effects on miniscrew success rates: A systematic review and meta-analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2021;24(S1):92-102.

17. Topouzelis N, Tsaousoglou P. Clinical factors correlated with the success rate of miniscrews in orthodontic treatment. *Int J Oral Sci*. avr 2012;4(1):38-44.

18. Kim H-J, Yun H-S, Park H-D, Kim D-H, Park Y-C. Soft-tissue and cortical-bone thickness at orthodontic implant sites. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 août 2006;130(2):177-82.

19. Mini-implants: l'orthodontie de demain - Skander Ellouze, François Darqué

20. Carano A, Velo S, Incorvati C, Poggio P. Clinical applications of the Mini-Screw-Anchorage-System (M.A.S.) in the maxillary alveolar bone. *Prog Orthod*. 2004;5(2):212-35.
21. Rossi-Fedele G, Franciscatto GJ, Marshall G, Gomes MS, Doğramacı EJ. Endodontic complications associated with orthodontic temporary anchorage devices: A systematic review of human studies. *Australian Endodontic Journal*. 2020;46(1):115-22.
22. Giudice AL, Rustico L, Longo M, Oteri G, Papadopoulos MA, Nucera R. Complications reported with the use of orthodontic miniscrews: A systematic review. *Korean J Orthod*. 25 mai 2021;51(3):199-216.
23. Barthelemi S, Beauval H. Prevalence of the use of anchorage miniscrews among French orthodontists. *International Orthodontics*. 1 déc 2015;13(4):436-61.
24. Choi H-J, Kim T-W, Kim H-W. A Precise Wire Guide for Positioning Interradicular Miniscrews. 2007;(5):4.
25. Benavides E, Rios HF, Ganz SD, An C-H, Resnik R, Reardon GT, et al. Use of Cone Beam Computed Tomography in Implant Dentistry: The International Congress of Oral Implantologists Consensus Report. *Implant Dentistry*. avr 2012;21(2):78-86.
26. Jheon AH, Oberoi S, Solem RC, Kapila S. Moving towards precision orthodontics: An evolving paradigm shift in the planning and delivery of customized orthodontic therapy. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2017;20(S1):106-13.
27. Cassetta M, Altieri F, Di Giorgio R, Barbato E. Palatal orthodontic miniscrew insertion using a CAD-CAM surgical guide: description of a technique. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. sept 2018;47(9):1195-8.
28. Iodice G, Nanda R, Drago S, Repetto L, Tonoli G, Silvestrini-Biavati A, et al. Accuracy of direct insertion of TADs in the anterior palate with respect to a 3D-assisted digital insertion virtual planning. *Orthodontics & Craniofacial Research* [Internet]. [cité 5 févr 2022];n/a(n/a). Disponible sur: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ocr.12525>
29. Pottier T, Brient A, Turpin YL, Chauvel B, Meuric V, Sorel O, et al. Accuracy evaluation of bracket repositioning by indirect bonding: hard acrylic CAD/CAM versus soft one-layer silicone trays, an in vitro study. *Clin Oral Invest*. nov 2020;24(11):3889-97.

30. Kim S-Y, Shin Y-S, Jung H-D, Hwang C-J, Baik H-S, Cha J-Y. Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 janv 2018;153(1):144-53.
31. Msallem B, Sharma N, Cao S, Halbeisen FS, Zeilhofer H-F, Thieringer FM. Evaluation of the Dimensional Accuracy of 3D-Printed Anatomical Mandibular Models Using FFF, SLA, SLS, MJ, and BJ Printing Technology. *J Clin Med*. 17 mars 2020;9(3):817.
32. Rouzé l'Alzit F, Cade R, Naveau A, Babilotte J, Meglioli M, Catros S. Accuracy of commercial 3D printers for the fabrication of surgical guides in dental implantology. *Journal of Dentistry*. 1 févr 2022;117:103909.
33. Ardani IGAW, Indharmawan R, Hamid T. The effect of miniscrew length and bone density on anchorage resistance: An in vitro study. *International Orthodontics*. 1 sept 2019;17(3):446-50.
34. Sarul M, Minch L, Park H-S, Antoszewska-Smith J. Effect of the length of orthodontic mini-screw implants on their long-term stability: A prospective study. *The Angle Orthodontist*. 21 avr 2014;85(1):33-8.
35. Bae M-J, Kim J-Y, Park J-T, Cha J-Y, Kim H-J, Yu H-S, et al. Accuracy of miniscrew surgical guides assessed from cone-beam computed tomography and digital models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. juin 2013;143(6):893-901.
36. Qiu L, Haruyama N, Suzuki S, Yamada D, Obayashi N, Kurabayashi T, et al. Accuracy of orthodontic miniscrew implantation guided by stereolithographic surgical stent based on cone-beam CT-derived 3D images. *The Angle Orthodontist*. 17 août 2011;82(2):284-93.
37. Liu H, Liu D, Wang G, Wang C, Zhao Z. Accuracy of surgical positioning of orthodontic miniscrews with a computer-aided design and manufacturing template. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 juin 2010;137(6):728.e1-728.e10.
38. Barker TM, Earwaker WJS, Lisle DA. Accuracy of stereolithographic models of human anatomy. *Australasian Radiology*. 1994;38(2):106-11.
39. Huotilainen E, Jaanimets R, Valášek J, Marcián P, Salmi M, Tuomi J, et al. Inaccuracies in additive manufactured medical skull models caused by the DICOM to STL conversion

process. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. juill 2014;42(5):e259-65.

6 Annexe

Démarche appliquée pour le calcul du champ d'application

La MV pouvait décrire au maximum une translation « a » à un balayage d'un angle « α ». Par approximation, le mouvement de balayage de la MV a été interprété comme un triangle isocèle dont la base de longueur « b » correspondait à la portion de cercle décrit par la pointe de la MV.

Les deux grands côtés correspondaient à la longueur L de la MV (14,45mm). En traçant la bissectrice « h » nous divisons chacun de ces triangles isocèles en deux triangles rectangles. La somme des trois angles d'un triangle rectangle faisant 180°, l'angle « β » correspondait à la soustraction de 180 par « α ». Dans un triangle rectangle, le sinus se calcule en divisant le côté opposé par l'hypoténuse. A partir de l'angle β , nous pouvions donc déterminer la longueur de la bissectrice h par la formule :

$$h = \sin(\beta) \times L$$

Le théorème de Pythagore décrit que dans un triangle rectangle, le carré de l'hypoténuse est égal à la somme des carrés des deux autres côtés. Le côté b, somme de côtés opposés de deux triangles rectangles, se calculait ainsi :

$$b = 2 \times \sqrt{(L^2 - h^2)}$$

Le côté c, parallèle de « a » passant par le point « e » formait un nouveau triangle rectangle dont b est l'hypoténuse.

$$c = b \times \sin(\beta)$$

La longueur « d », correspondant à la longueur du champ d'application de la MV à son apex était ainsi la somme de deux segments « a » et de deux segments « c ».

Exemple de calcul du champ d'application dans le sens sagittal :

$$\beta = 90 - \alpha = 90 - 3,375 = 86,625^\circ$$

$$h = \sin(86,625) \times 14,45 \approx 14,425 \text{ mm}$$

$$b = 2 \times \sqrt{14,45^2 - 14,425^2} \approx 1,70 \text{ mm}$$

$$c = 1,70 \times \sin(86,625) \approx 1,70 \text{ mm}$$

$$d = 2a + 2c \approx 2 \times 0,76 + 2 \times 1,7 \approx 4,92$$

L'apex de la vis oscille donc sur une longueur approximative de 4,92mm dans le sens sagittal.

U.F.R. DE (DISCIPLINE) DE RENNES		N°	1
LE TREUT Nicolas		Précision des guides chirurgicaux « in-office » pour le positionnement des minivis orthodontiques : une étude in-vitro	1
Thèse d'odontologie ; Université de Rennes 1; (2022)			
Résumé français			
Introduction : Les risques liés à l'implantation des mini-vis ont conduit à la réalisation de guides chirurgicaux. L'essor de la C.F.A.O. permet de planifier puis réaliser des guides chirurgicaux pour minivis adaptés à la situation anatomique du patient. L'objectif principal de cette étude <i>in-vitro</i> est d'évaluer le positionnement de minivis à l'aide d'un guide chirurgical conçu et imprimé « <i>in office</i> ». Matériels et méthodes : Après planification virtuelle d'une minivis, un guide chirurgical a été conçu. Deux opérateurs sans expérience ont positionné une minivis sur quarante modèles d'études à l'aide de ce guide. Les modèles minivis en place ont ensuite été scannés et superposés au modèle de référence. Leurs positions et leurs angulations ont ensuite été comparées à la planification initiale dans les trois sens de l'espace. Résultats : L'erreur moyenne de positionnement linéaire variait de $0,26 \pm 0,22\text{mm}$ à $0,41 \pm 0,31\text{mm}$ selon les plans. Pour les mesures angulaires, elle était comprise entre $2,72 \pm 1,78^\circ$ dans le sens sagittal et $3,89 \pm 2,31^\circ$ dans le sens vertical Conclusion : l'emploi d'un guide chirurgical « in-office » aide au bon positionnement des minivis orthodontiques mais ne permet pas de réduire totalement les risques. Les divergences de positionnement par rapport à la planification restaient inférieures à 0,5 mm et 4°.			
Rubrique de classement :		[ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE]	
Mots-clés français :			
Minivis, mini-implant			
Guide			
CFAO			
Impression 3D			
Mots-clés anglais :			
Miniscrew, TADS			
Guide			
CAD/CAM			
3D printing			
JURY :	Président :	M. le Professeur SOREL Olivier	
	Assesseurs :	M. le Docteur BREZULIER Damien	
		Mme la Professeure DAVIT-BEAL Tiphaine	
		M. le Docteur POTTIER Thomas	