

UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNEE 2023

2023 TOU3 3091

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

Céline THAN TRONG

Le 17 novembre 2023

APPORT DE L'APPROCHE NUMERIQUE EN ENDODONTIE ET RAPPORT DE CAS

Directeur de thèse : Dr Marie GURGEL-GEORGELIN

JURY

Président : Pr Frederic VAYSSE
1^{er} assesseur : Dr Marie GURGEL-GEORGELIN
2^e assesseur : Dr Antoine GALIBOURG
3^e assesseur : Dr Lorris BOIVIN



**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, Mme Chahrazed BELALI
Adjointes d'Enseignement : Mme. Isabelle ARAGON

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

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. Joffrey 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. Nicolas ALAUX, M. Vincent SUAREZ, M. Loris BOIVIN, Mme Laura PASCALIN, M. Thibault DECAMPS, Mme Emma STURARO, Mme Anouk FESQUET
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. Olivier DENY, Mme Alison PROSPER
Adjoints d'Enseignement : Mme Sylvie MAGNE, M. Thierry VERGÉ, M. Damien OSTROWSKI

Mise à jour pour le 01 Novembre 2023

A notre président du jury

Monsieur le Professeur VAYSSE Frédéric

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

Nous vous sommes reconnaissantes d'avoir accepté de présider ce jury. Nous vous remercions chaleureusement pour votre partage des outils numériques, votre gentillesse et les nombreux cafés offerts au bloc d'anesthésie pédiatrique. Soyez assuré de notre plus profond respect.

A notre directrice de thèse,

Madame la Docteur GURGEL-GEORGELIN Marie

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Maîtrise des Sciences Biologiques et Médicales
- D.E.A. MASS Lyon III,
- Ancienne Interne des Hôpitaux,
- Doctorat d'Université - Université d'Auvergne-Clermont

Nous vous sommes très reconnaissantes d'avoir accepté de diriger ce travail. Votre patience et votre bienveillance sont admirables. Nous vous remercions de nous avoir accompagnées dès notre premier jour d'internat et lors de tous ceux qui ont suivi. Merci pour votre humanité.

Aux membres du jury

Monsieur le Docteur 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

Nous vous remercions d'avoir accepté de juger ce travail. Votre implication et votre disponibilité sont remarquables. Nous vous sommes reconnaissantes de votre accompagnement, de vos précieux conseils et de votre gentillesse.

Aux membres du jury

Monsieur le Docteur BOIVIN Lorris

- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Chef de clinique des Universités – Assistant des hôpitaux

Nous vous remercions d'avoir accepté de siéger dans ce jury. Nous vous remercions pour nos échanges au cours de cette année et avons pris beaucoup de plaisir à vous croiser au cours de l'activité clinique.

Table des matières

Introduction	10
1. Difficultés du traitement endodontique	12
1.1. Difficultés anatomiques	12
1.1.1. Calcifications pulpaire et atypies anatomiques.....	12
1.1.2. Restaurations prothétiques	14
1.1.3. Implications	14
2. Les outils numériques au service de l'endodontie	16
2.1. L'endodontie guidée statique.....	16
2.2. L'endodontie guidée avec navigation dynamique.....	17
3. Protocole de réalisation d'un guide de trépanation dentinaire statique et cas cliniques illustrés	18
3.1. Protocole	18
3.2. Cas cliniques illustrés – guidage statique.....	22
4. Comparaison de l'endodontie guidée statique vs dynamique sur modèle imprimé	29
4.1. Matériel et méthodes	29
4.1.1. Création du modèle et impression	29
4.2. Résultats.....	32
4.3. Discussion	36
Conclusion	38
Table des illustrations	39
Bibliographie	40

Introduction

Les outils numériques revêtent une place de plus en plus importante dans notre quotidien, qu'il s'agisse de notre sphère personnelle, ou de notre sphère professionnelle avec l'essor du « digital workflow » comprenant les ordinateurs, les logiciels de planification, l'acquisition radiologique 2D ou 3D, les scanners intra oraux, les imprimantes 3D et les usineuses. Tous les domaines de la dentisterie se sont vus impactés par ce virage du numérique, qu'il s'agisse de l'implantologie, la parodontologie, l'orthodontie, la prothèse ou l'endodontie.

La discipline endodontique représente un véritable défi pour les omnipraticiens. Effectivement, une anatomie endocanaire complexe ou atypique, avec une visibilité réduite, auxquelles se surajoutent des risques iatrogènes non négligeables liés à l'instrumentation compliquent la prise en charge thérapeutique.

La réalisation d'un traitement endodontique satisfaisant suppose une succession d'étapes suivant un protocole rigoureux.

Parmi ces dernières, la préparation du canal radiculaire est l'une des étapes les plus importantes du traitement[1]. Elle passe par la réalisation d'une cavité d'accès coronaire et radiculaire afin d'accéder au système endocanaire.

Parfois, le système endocanaire est difficile d'accès car minéralisé, de par l'âge de la dent, de ses antécédents pathologiques et thérapeutiques ou à la suite d'un traumatisme par apposition de dentine réactionnelle.

Cela complique cet accès et impose un délabrement des tissus dentaires plus important à la recherche d'une perméabilité canalaire, et entraîne un risque de fracture accru, voire de perforation.

L'implantologie guidée, largement décrite dans la littérature, fait appel à des outils permettant la réalisation de guides chirurgicaux pour forêts pilotes ou à la navigation dynamique.

La démocratisation du geste et la précision qu'apporte ce type de guidage, qu'il soit statique ou dynamique, a permis de diversifier ses indications d'utilisation à un éventail de disciplines plus élargi.

Ce guidage a pu être détourné dans le domaine endodontique[2][3] afin d'assouvir la même vocation, à la seule différence que le forage est réalisé dans des tissus dentaires, et non plus osseux.

L'objectif de ce travail est de mettre en valeur l'intérêt de l'endodontie guidée. Pour ce faire, après avoir exposé les difficultés du traitement endodontique, nous établirons les principes régissant l'endodontie guidée statique et dynamique et les étapes de réalisation d'un guide endodontique statique et l'intérêt de son utilisation à travers trois cas cliniques. Nous comparerons enfin le guidage statique vs dynamique sur modèle imprimé.

1. Difficultés du traitement endodontique

La réussite d'un traitement endodontique suppose le suivi d'un protocole rigoureux.

La préparation du système endocanaire a pour but la suppression de tout le tissu pulpaire, ainsi que de tous les agents irritants (micro-organismes, toxines). Cette étape est à la fois mécanique à l'aide d'instruments endodontiques et chimique à l'aide d'une solution d'irrigation (l'hypochlorite de sodium) utilisée et renouvelée tout au long du traitement.[4] L'objectif est de réaliser une préparation conique corono-apicale régulière, qui respecte le trajet canalaire d'origine et de maintenir la position initiale et la dimension du foramen apical[1]. Cette préparation doit permettre aux solutions d'irrigation et au matériau d'obturation d'accéder à l'ensemble du système endodontique.

Succédant à la préparation, une obturation tridimensionnelle canalaire et coronaire étanche du système endodontique doit être entreprise afin de rendre le traitement canalaire pérenne et maintenir la position de la dent sur l'arcade dentaire ainsi que sa fonction. L'endodontie représente donc bien un pilier thérapeutique indispensable.

Selon l'AAE, les principales difficultés liées au traitement sont représentées par les difficultés anatomiques, telles que les calcifications, et les difficultés acquises telles que la présence de tenons fibrés ou de restaurations prothétiques. Enfin, face à la présence d'anatomies particulières telles que des dents in dents ou des dents gemelées, le recours à un guidage pour l'accès au système endocanaire a aussi toute sa place.

1.1. Difficultés anatomiques

1.1.1. *Calcifications pulpaires et atypies anatomiques*

Différents éléments peuvent amener les organes dentaires à développer une calcification du système endocanaire, compliquant de manière non négligeable son instrumentation, et pouvant indiquer l'utilisation d'un guide.

Tout d'abord, l'âge[3], [5]–[7] de la dent est à prendre en compte dans l'analyse pré-opératoire. Tout au long de la vie, il existe une apposition de dentine réactionnelle se développant à la suite des agressions subies par la pulpe, tels que des processus carieux,

d'attrition, ou de préparations cavitaires. Ainsi, l'espace alloué à la pulpe au sein de l'organe dentaire s'amenuise physiologiquement au cours du temps.

Par ailleurs, des calcifications pulpaire peuvent apparaître à la suite de thérapeutiques comme la pulpotomie définitive et les processus de revitalisation[6], [8] ou de forces excessives appliquées au cours de traitements orthodontiques[6].

Enfin, à l'issue d'un traumatisme[2], [3], [9], la réponse physiologique d'apposition de dentine tertiaire est très fortement accélérée et peut entraîner une oblitération pulpaire rapide.

On dira de cette dentine qu'elle est réactionnelle si l'agression est modérée et tertiaire si elle est violente.

Dans 73% des cas ces dents calcifiées présentent une bonne santé periapicale bien que ne répondant pas au froid compte tenu de la difficulté d'accès des stimuli au système endocanalaire[10].

Des anatomies atypiques compliquent le traitement endodontique en étant source de perte de repères.



Figure 1 : Cliché radiographique dens in dente (courtoisie Pr Diemer)



Figure 2 : cliché dens in dente (courtoisie Dr Roque)

Lorsqu'une lésion périapicale apparaît deux alternatives sont envisageables l'avulsion ou le traitement endodontique.

Le traitement endodontique dans ces circonstances cliniques est un véritable challenge avec un pronostic thérapeutique réduit par une forte augmentation du risque de perforation et de l'impossibilité de nettoyage du réseau canalaire.

Un risque médical à la réalisation d'un geste chirurgical d'avulsion, pour des patients sous biphosphonates, par exemple , peut pousser le praticien à réaliser le traitement endodontique malgré tout [11].

1.1.2. Restaurations prothétiques

A l'issue de la préparation périphérique d'une dent initialement vitale, une irritation pulpaire ou la sénescence ou la nécrose de celle-ci peut avoir lieu et conduire à la nécessité d'un traitement endodontique secondaire. Suivant la situation clinique, la dépose de la pièce prothétique n'est pas toujours indiquée, et on peut être amené à passer au travers de la couronne ou du bridge. La morphologie prothétique en place ne reflète pas toujours l'anatomie coronaire ou l'axe corono-radiculaire initiaux ce qui implique une perte de repères augmentant la difficulté du traitement.

Enfin, les dents porteuses de tenons en fibre de verre et nécessitant un retraitement endodontique sont considérées comme étant difficiles à retraiter avec un risque de perforation, la couleur du tenon et du composite se rapprochant de celle de la dentine[12].

1.1.3. Implications

1.1.3.1. Risques iatrogènes

La présence d'oblitération pulpaire n'est pas sans risque concernant la réalisation du traitement et le pronostic de la dent. Des perforations peuvent avoir lieu compte tenu de la difficulté, des fractures instrumentales, un délabrement tissulaire important à la recherche du canal peut aussi entraîner un risque de fracture accru.[13] La structure dentaire peut ainsi être fragilisée et le réseau canalaire peut être insuffisamment décontaminé.

1.1.3.2. Plateau technique et temps de traitement

Le recours à des aides optiques ou un microscope apparaît comme indispensable dans la gestion de telles prises en charge. Des inserts ultrasonores spécifiques sont aussi nécessaires associés à l'établissement de plusieurs radiographies excentrées afin de contrôler l'avancement du trajet tout au long de la recherche du système endocanalaire. La réalisation d'une tomодensitométrie volumique à faisceau conique (CBCT) étant d'emblée recommandée afin de mieux appréhender l'anatomie complexe.

Par rapport au temps de traitement, l'expérience du praticien joue un rôle non négligeable. Si un novice présentera plus de difficultés et sera plus lent, cette recherche n'en reste pas moins chronophage même chez un praticien expérimenté[14].

Traditionnellement, même chez un spécialiste à main levée, la recherche canalaire peut être supérieure à une heure[10], des pauses de contrôle radiographique s'imposant comme nécessaires.

2. Les outils numériques au service de l'endodontie

L'implantologie a connu un essor en termes de guidage, qu'il soit statique ou plus récemment dynamique afin d'accompagner le forage dans les trois sens de l'espace dans une position prédéfinie en amont, prenant en compte les risques anatomiques. Le domaine endodontique a aussi pu bénéficier de cette avancée, qu'il s'agisse de relocaliser des canaux calcifiés, de réaliser des fenêtres d'ostéotomie en microchirurgie endodontique ou bien de retirer des tenons fibrés dans le cadre de retraitements[15]. Ainsi, en 2016, les premiers guides endodontiques statiques imprimés ont vu le jour[2][3] et obtenu des résultats prometteurs.

2.1. L'endodontie guidée statique

L'endodontie guidée statique a recours à un guide à appui généralement dentaire présentant un tube de guidage. Après réalisation d'un CBCT et acquisition d'un fichier numérique des arcades, le forage est planifié de telle sorte à atteindre la lumière canalaire puis le guide est designé puis imprimé[16] ou usiné suivant un processus décrit plus loin. Une des forces de cette technique est qu'étant plus éprouvée, elle a été davantage décrite[10] dans la littérature que son homologue dynamique. Les forages sont aussi plus simples à réaliser indépendamment de l'expérience praticien, et sont rapportés comme plus économes en tissu dentaire[17]. De plus, le coût de leur mise en place est amoindri car ne comprend que l'éventuel export d'un logiciel de planification associé à l'impression du guide.

Concernant les limitations du guidage statique, la mise en place du guide limite l'accès visuel du site, et son épaisseur associée au passage de la tête du contre angle et du foret impose un espace nécessaire difficilement compatible avec les secteurs postérieurs. De plus, le foret ayant une trajectoire droite, ce guidage s'adresse à des dents plutôt monoradiculées donc facilement accessibles avec un canal droit ou avec une planification s'arrêtant en amont de toute courbure, bien que des tentatives en secteur postérieur aient été menées à bien[18].

Enfin, le traitement ne peut pas être réalisé en une séance, les étapes de planification, de conception, d'impression et de post traitement du guide étant incompressibles.

2.2. L'endodontie guidée avec navigation dynamique

La navigation dynamique repose sur une détection de mouvements par des capteurs.

Le X-Guide, proposé par Nobel présente ainsi un boîtier comportant un scialytique, deux caméras et d'un écran de contrôle en temps réel. Le forage se réalise suivant un système de cible à suivre. Un tracker relié au contre angle permet à la caméra de suivre le mouvement de ce dernier, le X-clip permet un repérage lors de l'intervention, généralement positionné sur l'arcade controlatérale de la zone d'intérêt. Un go-plate permet la calibration des forets et une sonde X-Mark permet un enregistrement virtuel du patient.



Figure 3 : Boîtier X-Guide

Cette technique permet la réalisation du traitement en un rendez-vous sans contrainte temporelle, une fois la planification réalisée, avec une possibilité de modification de la planification en temps réel. Par ailleurs, l'espace nécessaire à sa mise en place permet son utilisation sur un espace nécessaire moins important qu'en statique.

En revanche, le matériel nécessaire est particulièrement coûteux, ne rendant pas cette technique démocratisable dans tous les cabinets dentaires. Il existe une véritable courbe d'apprentissage de cette technique, la rendant plus difficilement accessible aux praticiens. En effet, au cours de la calibration, plusieurs erreurs peuvent se glisser et fausser les forages, comme des erreurs de calibration, un mauvais report des points remarquables ou une mauvaise évaluation en temps réel du système[10], [11], [18].

In vitro, le guidage statique et dynamique en endodontie se sont révélés plus précis que la technique à main levée mais aucune différence significative n'a été décelée entre ces deux techniques en terme de précision[19].

3. Protocole de réalisation d'un guide de trépanation dentinaire statique et cas cliniques illustrés

Nous allons désormais envisager le protocole de réalisation d'un guide de trépanation dentinaire statique au cabinet.

La planification du cas est réalisée par le biais du logiciel BlueSkyPlan. Initialement à visée implantaire, ce logiciel a l'avantage d'être d'utilisation gratuite. Cependant, l'exportation du fichier standard triangle language (.STL) du guide implantaire est soumise à un tarif d'une vingtaine d'euros. Le logiciel étant souple dans l'établissement de ses réglages, il peut aussi bien permettre la réalisation de guides implantaires qu'endodontiques.

3.1. Protocole

- Acquisition d'un fichier d'une empreinte numérique au format .STL

Un pré-requis indispensable à toute planification est l'acquisition numérique des arcades.

Pour ce faire, on peut procéder de deux façons.

Tout d'abord, les scanners de laboratoire permettent à partir d'une empreinte ou d'un modèle en plâtre d'obtenir un fichier numérique de l'arcade d'un patient. Cela permet de s'affranchir de l'achat d'une caméra optique.

Une empreinte optique par caméra permettra d'obtenir sans étape intermédiaire une reconstitution surfacique de l'arcade souhaitée.

- Acquisition d'une radiographie 3D au format DICOM

Ensuite, afin de mieux appréhender l'anatomie canalaire dans les 3 sens de l'espace, la réalisation d'un cone beam (cbct) ou d'un scanner est recommandée dans la gestion d'une dent calcifiée, qu'on utilise ou pas de guide (European society of Endontology 2014).

Cependant, dans le cas de la réalisation d'un guide, la radiographie tridimensionnelle doit correspondre idéalement à l'acquisition de toute l'arcade concernée, en innoclusion et avec une précision au minimum d'environ 300 microns par voxel.

Superposition

Après que les fichiers DICOM et .STL aient été intégrés au logiciel, il s'agit de les superposer afin de concevoir le guide au plus proche de la situation clinique. Cela peut être fait manuellement, ou obtenu par la superposition de points entre le modèle numérique et le CBCT .

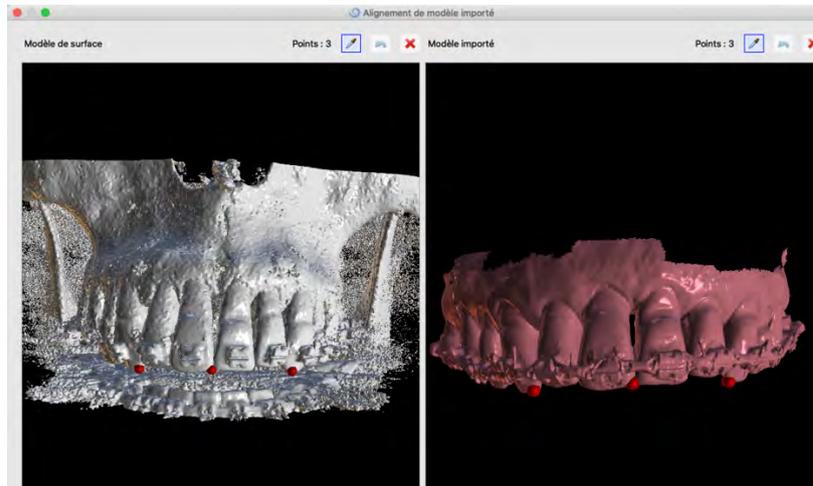


Figure 4 : Superposition

Une fois que cela est fait, on s'assure sur toute la surface de l'arcade d'un contact intime entre le fichier STL et les bords du DICOM.

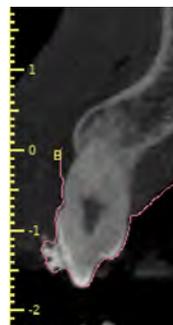


Figure 5 : Superposition

Planification

Concernant le matériel de forage, on dispose de forets pilotes Dentoclic Itena de diamètre 0,9.



Figure 6 : pilotes

L'intérêt du logiciel BlueSkyplan est de pouvoir sélectionner un « implant personnalisé » permettant un forage pilote avec une longueur et un diamètre de notre choix.

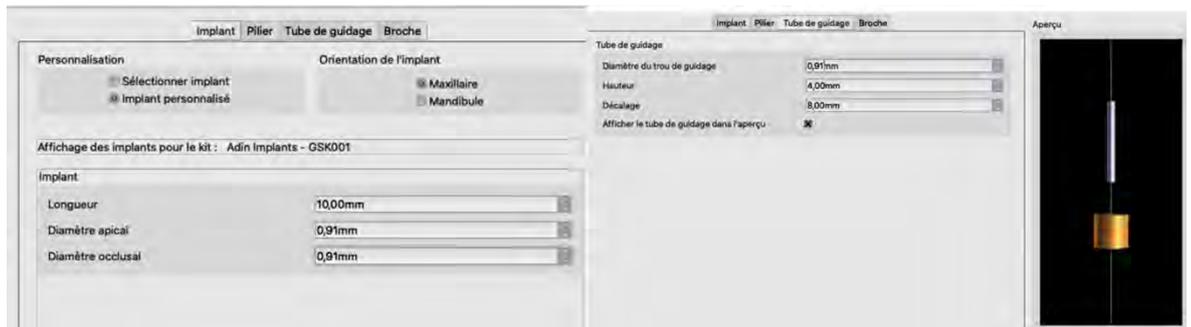


Figure 7 : Planification

Ensuite, on crée le tube de guidage qui assure le passage contrôlé du foret. Ce dernier est surdimensionné de 0,01 afin d'assurer un espace nécessaire au passage de l'instrument dans l'orifice. Il s'agit de sélectionner une hauteur de tube de guidage suffisante pour contrôler la direction du foret, mais permettant tout de même à ce dernier d'atteindre la lumière canalaire visible à l'imagerie.

On positionne ensuite « l'implant » prévisualisant le futur forage au niveau de la dent calcifiée en contrôlant l'axe de ce dernier dans les 3 sens de l'espace afin d'éviter tout accident iatrogène.

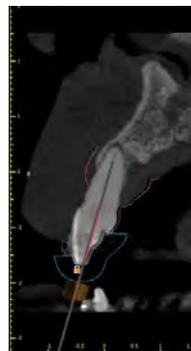
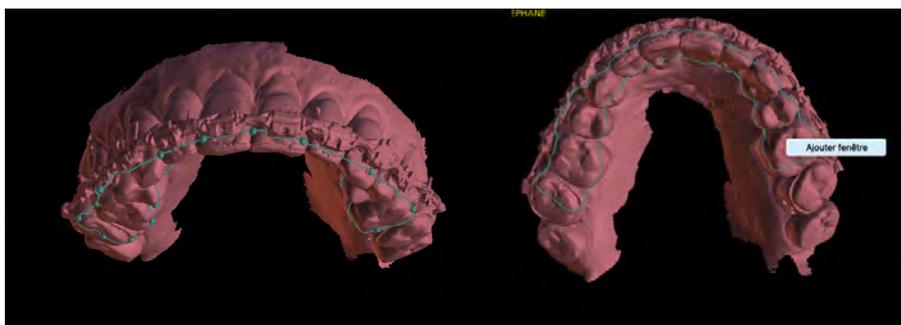


Figure 8 : Planification

□ Création du guide



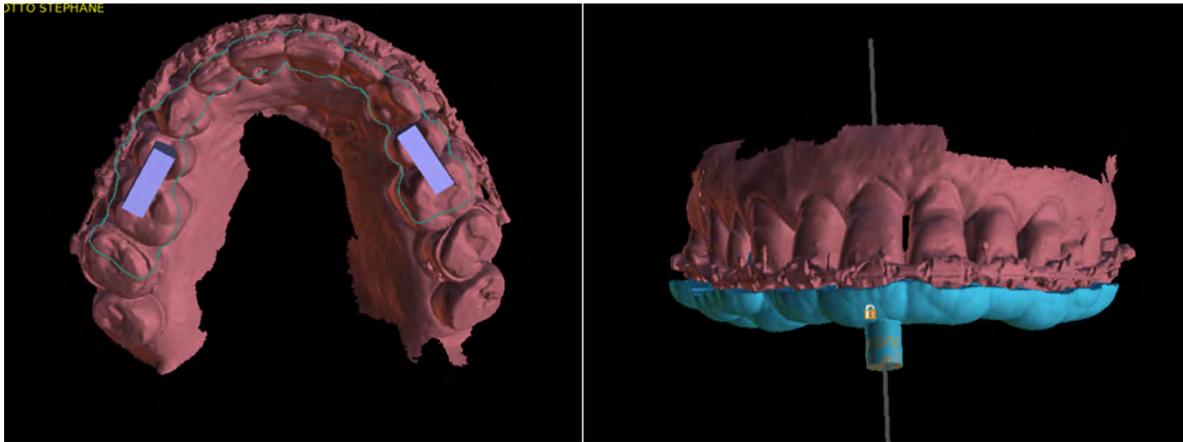


Figure 9 : Dessin du guide

Au niveau du panneau de guidage, on peut ensuite tracer la courbe du guide chirurgical en accord avec la situation clinique, et y ajouter des fenêtres afin de s'assurer du positionnement correct du guide avant l'acte et limiter le risque d'échec.

L'export peut ensuite être réalisé, à l'issue duquel on obtient le fichier .STL du guide.

□ Impression

Le guide au format .STL peut ensuite être envoyé au laboratoire pour impression ou imprimé directement au cabinet si une chaîne d'impression y est disponible.

Utilisation : intérêt d'une douille métallique

Traditionnellement, dans le cadre de l'implantologie guidée statique, des douilles métalliques sont utilisées afin d'accompagner le passage du foret.

La démocratisation de la production des guides stéréolithographiques au cabinet dentaire est accompagnée d'un intérêt grandissant pour les guides statiques sans douilles, permettant de simplifier la chaîne de travail et de diminuer les coûts. Parallèlement, dans le cadre de l'endodontie guidée, face au diamètre particulièrement réduit des forets, il est difficile de trouver des douilles au diamètre adapté, n'étant pas manufacturées dans le commerce à visée dentaire. Pour s'en procurer, le recours à une commande personnalisée est indispensable, ce qui complique la prise en charge.

La littérature s'accorde sur le haut niveau de précision apporté par les guides sans douilles dans le placement implantaire dans les trois sens de l'espace[20]–[22].

Pour autant, dans notre expérience, après avoir testé des guides de trépanation dentinaires statiques dans plusieurs situations cliniques, il existe un risque d'ovalisation du tube de guidage au fur et à mesure du passage du foret, ce qui fait perdre en précision.

3.2. Cas cliniques illustrés – guidage statique

- Cas d'une incisive mandibulaire calcifiée



Figure 10 : cliché radiographique initial

Mme M, sans antécédents médicaux, chirurgicaux ou allergiques présentait des abcès apicaux fistulisés sur 31 41, indiquant la réalisation de traitements endodontiques initiaux. Compte tenu de la calcification pulpaire, le traitement de la 41 a d'abord été entrepris sous microscope à l'aide d'inserts ET20 et ET30. Des contrôles radiographiques réguliers excentrés au cours de l'avancement du soin se sont avérés nécessaires pour s'assurer de l'absence de fausse route. Le traitement a été mené à bien à l'issue de plusieurs longues séances.

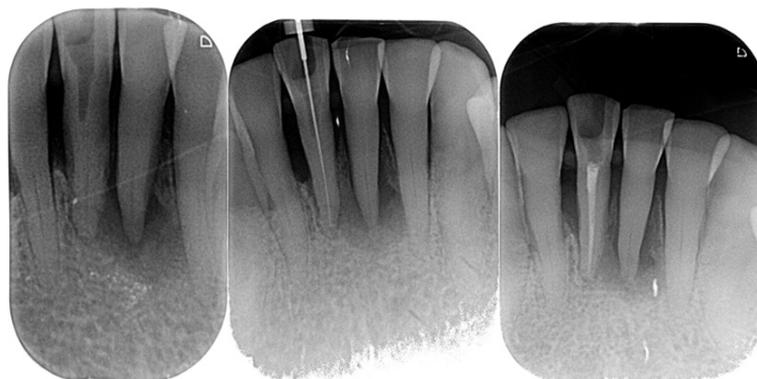


Figure 11 : Clichés radiographiques du traitement endodontique de 41



Figure 12 : Vue clinique

Compte tenu de la difficulté du traitement initial de 41 et du contexte identique de la 31, nous avons recherché des solutions alternatives

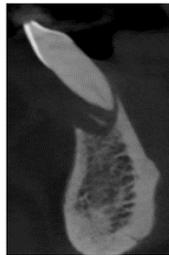


Figure 13 : cliché radiographique 31

La 31 étant calcifiée et vestibulo versée, la fenêtre d'ostéotomie dans cette situation clinique devrait vraisemblablement être située en lingual pour permettre un accès apical. Cela contre indique le recours à la chirurgie. Le niveau parodontal proximal situé au 2/3 radiculaires suggère un potentiel de cicatrisation satisfaisant.

Du fait de la difficulté technique du geste et des risques associés, il a été décidé de réaliser un guide stéréolithographique endodontique de trépanation dentinaire afin de guider notre accès par l'intermédiaire du logiciel BlueSkyPlan®.

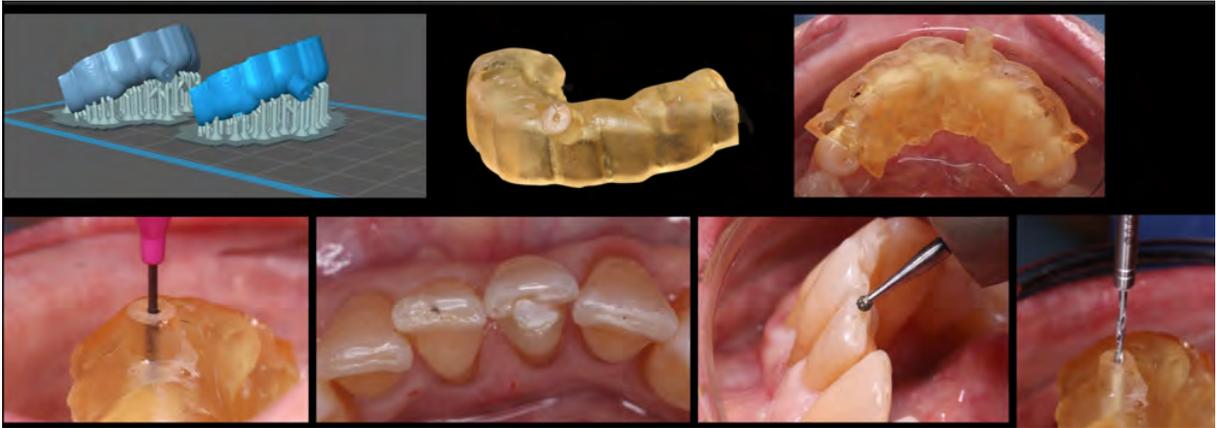


Figure 14 : photographies de l'enchaînement clinique

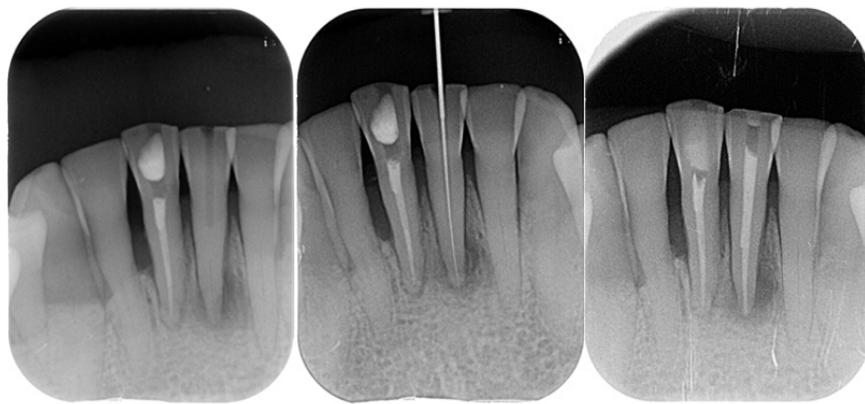


Figure 15 : clichés radiographiques du traitement endodontique de 31

A l'issue de la conception et de la réalisation du guide, après vérification de l'ajustage correct de ce dernier, une mine graphite est introduite en vue de réaliser une améloplastie sélective, l'émail étant plus minéralisé donc plus difficile à négocier pour le foret. Survient ensuite le forage au travers du guide. On vérifie alors qu'on a retrouvé une perméabilité canalaire, et le traitement endodontique conventionnel peut suivre son cours.

Bien que la planification en amont soit chronophage, le recours à ce type de dispositif fait gagner un temps considérable au fauteuil, et diminue le plateau technique nécessaire.

□ Cas d'une incisive maxillaire calcifiée

M. P, âgé de 45 ans nous était initialement adressé à l'issue de son traitement orthodontique pour contention, et ne présentait pas de pathologie générale, de traitement ou d'allergie.

Après un suivi orthodontique de 6 semestres et un suivi parodontal, il rapporte un traumatisme antérieur alors qu'il était porteur de multi-attaches.



Figure 16 : Vues cliniques exo et endo buccales

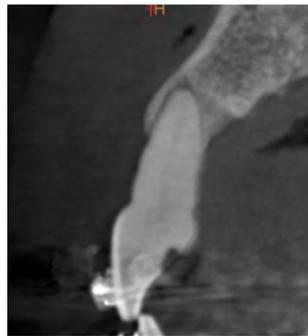


Figure 17 : cliché radiographique de la situation clinique initiale

En effet, le patient a subi un choc sur la 11 qui a entraîné une rupture du paquet vasculo nerveux provoquant la nécrose de cette dent, et l'apparition d'une coloration disgracieuse au collet. Cependant, à l'examen radiographique, une absence de lumière canalaire a été mise en évidence par apposition de dentine réactionnelle post traumatique, ce qui complique le traitement de manière non négligeable. En effet, une voie d'accès avait été entreprise, sans succès, antérieurement par une autre praticienne.

Par ailleurs, le support parodontal réduit chez ce patient contre indiquait la réalisation d'une chirurgie rétrograde, il paraît effectivement inenvisageable de retirer 2 à 3 mm d'apex sans compromettre l'avenir de la dent. Le recours à un guide endodontique pour nous orienter dans la recherche de la lumière canalaire apparaît comme une aide précieuse dans notre prise en charge.

Après acquisition d'un cliché radiographique 3D de type CBCT et d'une empreinte optique de l'arcade maxillaire la planification est entreprise avec le logiciel BlueSkyPlan. L'impression a été réalisée au moyen d'une imprimante 3D personnelle (Sonic Mini, Phrozen) et du logiciel de slicer (logiciel de tranchage) CHITUBOX.

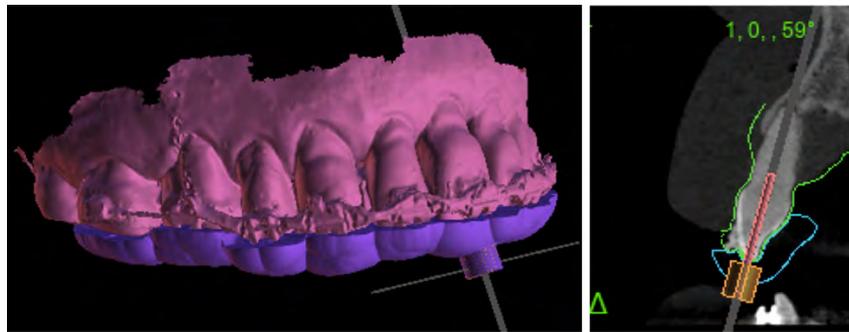


Figure 18 : Planification



Figure 19 : Traitement de 11

- Traitement endodontique par voie orthograde 11
 - Vérification de l'ajustage du guide à l'aide des fenêtres et de l'adaptation des extrémités
 - Mise en évidence de l'axe de forage au niveau du bord libre de la dent avec une mine graphite
 - Améloplastie au niveau de la zone marquée
 - Forage à la longueur finale, validée lors de la planification tridimensionnelle.

Cependant, à la fin du forage, aucune perméabilité canalaire n'a été décelée, malgré l'utilisation de limes de faible diamètre. Le tube de guidage a alors été fraisé petit à petit sans qu'une perméabilité canalaire soit mise en évidence, jusqu'à fraisage total du tube. Nous avons réalisé une radiographie 3D à l'issue du forage et avons pu constater une petite déviation du foret qui n'était plus guidé, sans que cela compromette le pronostic de cette dent. Nous avons ensuite retrouvé une perméabilité canalaire par cathétérisme manuel à la lime K-10.

- Parage canalaire et réalisation du traitement endodontique avec la séquence Protaper Gold et obturation par thermocompaction.



Figure 20 : clichés radiographiques du traitement endodontique de 11

- Cas d'une incisive mandibulaire support de bridge

M. D m'a été adressée par le service de parodontologie concernant le traitement initial de la 32 dans le cadre d'une lésion endo parodontale. Support de bridge et mobile, notre choix s'est porté vers l'utilisation d'un guide de trépanation afin de traiter la dent contenue au travers du bridge. Cela nous a ainsi permis d'éviter de luxer la dent au cours de la dépose du bridge et de maintenir la contention.

Après accès au système endocanalaire, la suite du traitement a pu être réalisée de manière conventionnelle au travers d'une digue ouverte.

- Traitement endodontique par voie orthograde 32

- Vérification de l'ajustage du guide à l'aide des fenêtres et de l'adaptation des extrémités

- Mise en évidence de l'axe de forage au niveau du bord libre de la dent prothétique avec une mine graphite
- Fraisage du bridge au niveau de la zone marquée
- Forage à la longueur finale, validée lors de la planification tridimensionnelle, perméabilité canalaire retrouvée par cathétérisme manuel à la lime K-10.
- Parage canalaire et réalisation du traitement endodontique avec la séquence Protaper Gold et obturation par thermocompaction.

Le recours à un guide dans cette situation a permis un gain de temps considérable. Si l'accès au système endocanalaire n'était pas compliqué par une calcification exacerbée, la présence d'une restauration périphérique autour la rendait plus difficile. Savoir exactement dans quelle direction fraiser a apporté un confort non négligeable et diminué les risques de iatrogénicité.



Figure 21 : Traitement de 32

4. Comparaison de l'endodontie guidée statique vs dynamique sur modèle imprimé

L'endodontie guidée statique étant plus décrite que son homologue dynamique dans la littérature, il est difficile de trouver une comparaison des deux techniques, notamment sur un contexte clinique superposable. Dans le cadre de ce travail, conjointement au travail de thèse du Dr Mélanie Domergue, le CHU de Toulouse a donc imaginé une étude pilote comparant ces deux techniques sur modèle imprimé.

4.1. Matériel et méthodes

4.1.1. *Création du modèle et impression*



Figure 22 : conception du modèle et impression

Par le biais du logiciel Meshmixer, un modèle comportant 14 dents monoradiculées a été créé, un espace représentant une lumière canalaire a été rajouté sur chaque dent au 2/3 apical afin de représenter au mieux la situation clinique d'une dent calcifiée, et monoradiculée donc afin de se conformer aux indications.

Le modèle est ensuite imprimé à deux reprises (imprimante PHROZEN – Water washable photopolymer resin), un modèle servira aux forages statiques et un modèle aux forages dynamiques.

Avant le post traitement, les modèles sont méticuleusement nettoyés, des goupillons sont passés afin de retirer toute résine résiduelle des espaces aloués à la lumière canalaire.

Après polymérisation, un scanner de table nous permet d'obtenir les fichiers .STL des modèles nouvellement imprimés, un CBCT est parallèlement réalisé.

4.1.1.1. Planification

Après superposition des fichiers .STL et DICOM,, la planification des forages au travers du logiciel BlueSkyPlan est envisagée pour le passage de forets de diamètre 0,75mm et de longueur 18mm.

Un guide statique ensuite imprimé et des douilles compatibles et recoupées artisanalement sont collées.

La planification est aussi exportée et validée sur le logiciel du X-Guide.

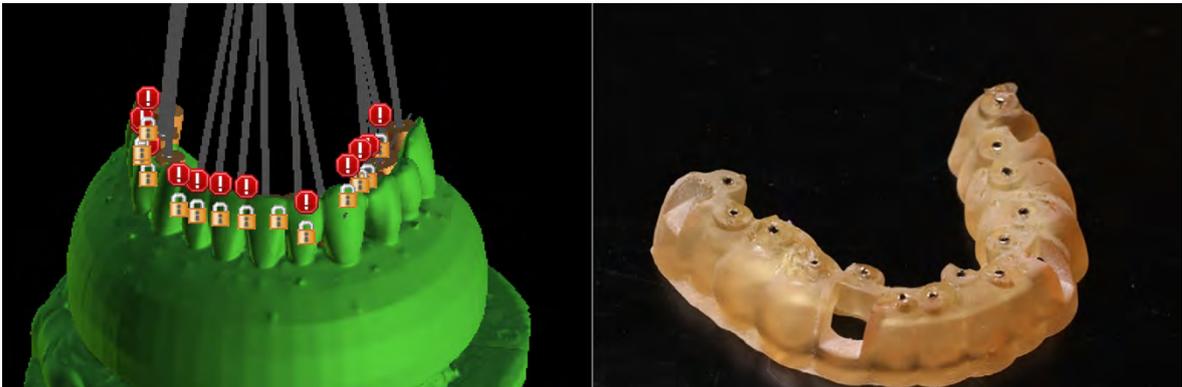


Figure 23 : Planification des forages et impression du guide

a) Forages

Les forages sont ensuite réalisés par des opérateurs compétents et habitués aux techniques citées. Le Dr Gurgel, responsable du Diplôme Universitaire d'Endodontie au CHU de Toulouse s'est chargée des forages statiques. Après mise en place du guide statique sur le modèle ayant servi à l'élaboration de ce dernier, puis vérification d'une adaptation correcte au niveau des fenêtres, les forages ont été entrepris de manière successive d'un seul tenant .



Figure 24 : Forages statiques

Le Dr Galibourg, responsable du Diplôme Universitaire d'Implantologie au CHU de Toulouse et rompu à l'utilisation du Nobel X-Guide, s'est chargé des forages dynamiques après étalonnage. Les clichés radiographiques n'ayant pas été mesurés sur place avant la radiographie, le mécanisme de reconnaissance a donc été posé sur le socle.

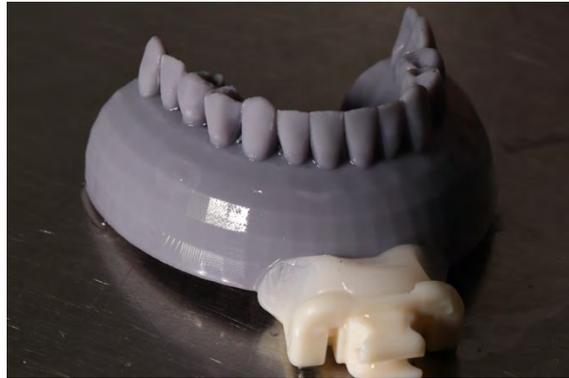
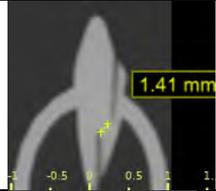
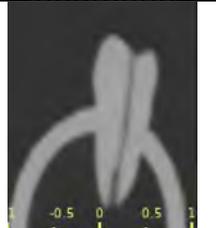
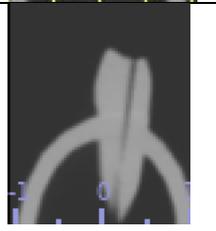
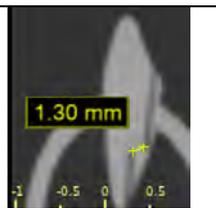


Figure 25 : étalonnage forage dynamique

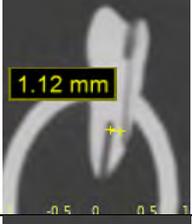
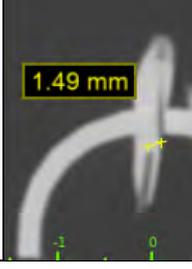
4.2. Résultats

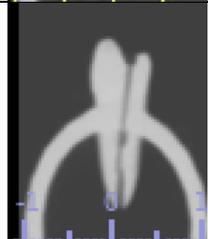
Endodontie guidée statique

Numéro de dent		Succès	Temps	Observations	
47		non	19'22	Axe non respecté	
46		oui	12'40		
45		oui	14'95		
44		oui	13'60	Absence de perméabilité à la fin du forage	Planification de forage insuffisante malgré un axe compatible
43		non	10'50		
42		non	10'67		

41		oui	11.08		
31		oui	10'55		
32		oui	11'91		
33		oui	9'89		
34		non	9'00		
35		oui	08'00		
36		oui	08'49		
37		oui	07'67		

□ Endodontie guidée naviguée

		Succès	Temps	Observations	
47		oui	5 min 39s	Nécessité de tenir le tracker	
46		non	4 min 37s	Tracker mobile	
45		non	2 min 37s	Décalage du XClip	
44		Oui (accroche)	1 min 21s		
43		oui	2 min 2s		
42		oui	2 min 24s		
41		non	3 min	Erreur humaine, rip du foret	

31		oui	1 min 33s		
32		oui	2 min 16s		
33		oui	1 min 49s		
34		oui	2 min 06s		
35		oui	2 min 29s		
36		oui	2 min 42s		
37		oui	4 min 52s		

4.3. Discussion

Cette étude comporte un certain nombre de biais. Tout d'abord, les conditions cliniques ne sont pas représentatives, les modèles étant posés sur paillasse. La résine n'est pas véritablement comparable aux tissus dentaires, et on s'expose aussi à un potentiel biais d'impression.

Les deux planifications étaient les mêmes portant sur deux modèles vraisemblablement identiques. Pourtant, les échecs n'ont pas porté sur les mêmes dents ce qui laisse supposer des erreurs dans le suivi du protocole plus que de planification concernant l'axe.

Concernant les forages statiques, la présence d'axes non respectés pourrait être expliquée par un mauvais positionnement du guide faussant l'axe du forage. Par ailleurs, les douilles ont été recoupées artisanalement pour des tubes de guidage de 4mm, certaines douilles ont pu avoir été mal positionnées faussant le positionnement du guide à certains endroits. Par ailleurs, il reste possible qu'au cours de l'impression, l'espace initialement alloué à la lumière canalaire ait été pollué par de la résine, empêchant un forage satisfaisant.

Concernant les forages dynamiques, les derniers forages ont été faussés du fait d'un décalage du X-Clip, faussant le repérage en temps réel comparativement à la position initialement enregistrée au cours de l'étalonnage. Il faudrait lui assurer un positionnement plus robuste pour éviter ces écueils. Le X-Clip était ici collé au socle et non pas aux dents. Il faut bien veiller à bloquer la potence du tracker et s'assurer que la tête du contre angle soit bien vissée.

Les résultats étaient pourtant prometteurs avec une 1^e série de forages satisfaisante. Par ailleurs, il s'agit d'un logiciel à visée initialement implantaire habitué à des forets plus larges, le repérage de forets aussi fins que 0,75 est donc plus compliqué.

De plus, à l'analyse radiographique, certains forages semblent suggérer une absence de perméabilité à l'issue des forages, qui était pourtant obtenue cliniquement.

Pour autant, cette étude, bien que perfectible, présente un véritable intérêt dans le sens où il n'y a actuellement dans la littérature aucune s'intéressant à deux situations à ce point cliniquement superposables.

Des axes d'amélioration semblent se porter sur une chaîne d'impression plus robuste, afin d'éviter des résidus de résine au niveau de l'espace canalaire, et éventuellement à une planification excédant légèrement le début de lumière canalaire visible radiologiquement. Aussi, une calibration plus solide semble trouver tout son sens pour diminuer le risque d'échecs au cours de la navigation dynamique.

La navigation dynamique, entre l'étalonnage et le suivi du forage en temps réel nécessite une temporalité accrue comparativement aux forages statiques, bien qu'elle ait l'avantage de s'affranchir de la fabrication d'un guide.

Cependant, cette dernière technique présente un enjeu financier bien supérieur à la technique statique, la rendant moins abordable en cabinet d'omnipratique.

Conclusion

La réalisation d'un traitement endodontique peut s'avérer difficile dès la première étape d'accès au système endocanal. Des minéralisations, anatomies complexes ou des restaurations peuvent effectivement être sources de complications.

Chez le spécialiste comme chez l'omnipraticien non équipé en terme de plateau technique, avec une expérience faible dans ce domaine de compétence, l'endodontie guidée représente une aide non négligeable voir indispensable. Après une analyse clinique et radiologique efficace, les forages guidés peuvent être envisagés plus sereinement qu'à main levée, avec un taux de succès reconnu dans la littérature[19]. En effet, le recours aux forages guidés, qu'ils soient statiques ou dynamiques, ont déjà montré leur supériorité comparativement à la technique à main levée, avec une augmentation du pourcentage de chance de trouver le canal. La navigation dynamique demeure à ce jour une technique plus difficilement accessible, réservée à certains praticiens équipés dans le cadre de structures de recours, hospitalières et dans un nombre limité de cabinets libéraux. Elle présente des atouts indéniables comparativement à son homologue statique, et pourrait encore augmenter le taux de succès thérapeutique.

Pour autant, aucune de ces deux techniques ne semble prendre l'ascendant sur l'autre. D'autres études semblent nécessaires afin d'établir la supériorité, ou non d'une technique sur l'autre.

La Directrice de thèse

Dr Marie GURGEL-GEORGELIN



Marie GURGEL-GEORGELIN

Le Président du jury

Pr Frederic VAYSSE



Table des illustrations

Figure 1 : Cliché radiographique dens in dente (courtoisie Pr Diemer)	13
Figure 2 : cliché dens in dente (courtoisie Dr Roque)	13
Figure 3 : Boitier X-Guide	17
Figure 4 : Superposition	19
Figure 5 : Superposition	19
Figure 6 : pilotes	19
Figure 7 : Planification	20
Figure 8 : Planification	20
Figure 9 : Dessin du guide	21
Figure 10 : cliché radiographique initial	22
Figure 11 : Clichés radiographiques du traitement endodontique de 41	22
Figure 12 : Vue clinique	23
Figure 13 : cliché radiographique 31	23
Figure 14 : photographies de l'enchaînement clinique	24
Figure 15 : clichés radiographiques du traitement endodontique de 31	24
Figure 16 : Vues cliniques exo et endo buccales	25
Figure 17 : cliché radiographique de la situation clinique initiale	25
Figure 18 : Planification	26
Figure 19 : Traitement de 11	26
Figure 20 : clichés radiographiques du traitement endodontique de 11	27
Figure 21 : Traitement de 32	28
Figure 22 : conception du modèle et impression	29
Figure 23 : Planification des forages et impression du guide	30
Figure 24 : Forages statiques	30
Figure 25 : étalonnage forage dynamique	31

Bibliographie

- [1] Schilder H, « Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 1974;18:269-296. » 1974.
- [2] G. Krastl, M. S. Zehnder, T. Connert, R. Weiger, et S. Kühl, « Guided Endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology », *Dent Traumatol*, vol. 32, n° 3, p. 240-246, juin 2016, doi: 10.1111/edt.12235.
- [3] M. S. Zehnder, T. Connert, R. Weiger, G. Krastl, et S. Kühl, « Guided endodontics: accuracy of a novel method for guided access cavity preparation and root canal location », *Int Endod J*, vol. 49, n° 10, p. 966-972, oct. 2016, doi: 10.1111/iej.12544.
- [4] HAS, « rapport_traitement_endodontique.pdf ». 2008.
- [5] P. C. Foreman et J. V. Soames, « Structure and composition of tubular and non-tubular deposits in root canal systems of human permanent teeth », *International Endodontic Journal*, vol. 21, n° 1, p. 27-36, 1988, doi: 10.1111/j.1365-2591.1988.tb00950.x.
- [6] T. Connert, M. S. Zehnder, M. Amato, R. Weiger, S. Kühl, et G. Krastl, « Microguided Endodontics: a method to achieve minimally invasive access cavity preparation and root canal location in mandibular incisors using a novel computer-guided technique », *International Endodontic Journal*, vol. 51, n° 2, p. 247-255, 2018, doi: 10.1111/iej.12809.
- [7] M. Johnstone et P. Parashos, « Endodontics and the ageing patient », *Australian Dental Journal*, vol. 60, n° S1, p. 20-27, 2015, doi: 10.1111/adj.12281.
- [8] H. A. Agamy, N. S. Bakry, M. M. F. Mounir, et D. R. Avery, « Comparison of Mineral Trioxide Aggregate and Formocresol as Pulp-capping Agents in Pulpotomized Primary Teeth ». Consulté le: 26 juin 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ingentaconnect.com/content/aapd/pd/2004/00000026/00000004/art00003>
- [9] F. M. Andreasen, Y. Zhijie, B. L. Thomsen, et P. K. Andersen, « Occurrence of pulp canal obliteration after luxation injuries in the permanent dentition », *Endod Dent Traumatol*, vol. 3, n° 3, p. 103-115, juin 1987, doi: 10.1111/j.1600-9657.1987.tb00611.x.
- [10] T. Connert, R. Weiger, et G. Krastl, « Present status and future directions - Guided endodontics », *Int Endod J*, vol. 55 Suppl 4, n° Suppl 4, p. 995-1002, oct. 2022, doi: 10.1111/iej.13687.
- [11] E. M. Jonaityte, G. Bilvinaite, S. Drukteinis, et A. Torres, « Accuracy of Dynamic Navigation for Non-Surgical Endodontic Treatment: A Systematic Review », *J Clin Med*, vol. 11, n° 12, p. 3441, juin 2022, doi: 10.3390/jcm11123441.
- [12] A. Jawed, A. S. Alghmlas, et Z. Khurshid, « 15 - Fiber post: Physics, chemistry, adhesive properties, and its implications on root canal retreatment », in *Biomaterials in Endodontics*, Z. Khurshid, M. S. Zafar, et S. Najeeb, Éd., in Woodhead Publishing Series in Biomaterials. , Woodhead Publishing, 2022, p. 357-378. doi: 10.1016/B978-0-12-821746-7.00016-4.
- [13] A. Vinagre, C. Castanheira, A. Messias, P. J. Palma, et J. C. Ramos, « Management of Pulp Canal Obliteration-Systematic Review of Case Reports », *Medicina (Kaunas)*, vol. 57, n° 11, p. 1237, nov. 2021, doi: 10.3390/medicina57111237.

- [14] A. W. Wong, X. Zhu, S. Zhang, S. K. Li, C. Zhang, et C.-H. Chu, « Treatment time for non-surgical endodontic therapy with or without a magnifying loupe », *BMC Oral Health*, vol. 15, p. 40, mars 2015, doi: 10.1186/s12903-015-0025-7.
- [15] K. Kulinkovych-Levchuk, M. P. Pecci-Lloret, P. Castelo-Baz, M. R. Pecci-Lloret, et R. E. Oñate-Sánchez, « Guided Endodontics: A Literature Review », *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, n° 21, p. 13900, oct. 2022, doi: 10.3390/ijerph192113900.
- [16] P. Shah et B. S. Chong, « 3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics », *Clin Oral Investig*, vol. 22, n° 2, p. 641-654, mars 2018, doi: 10.1007/s00784-018-2338-9.
- [17] D. Ribeiro, E. Reis, J. A. Marques, R. I. Falacho, et P. J. Palma, « Guided Endodontics: Static vs. Dynamic Computer-Aided Techniques-A Literature Review », *J Pers Med*, vol. 12, n° 9, p. 1516, sept. 2022, doi: 10.3390/jpm12091516.
- [18] J. Buchgreitz, M. Buchgreitz, et L. Bjørndal, « Guided Endodontics Modified for Treating Molars by Using an Intracoronar Guide Technique », *Journal of Endodontics*, vol. 45, n° 6, p. 818-823, juin 2019, doi: 10.1016/j.joen.2019.03.010.
- [19] Á. Zubizarreta-Macho, A. de P. Muñoz, E. R. Deglow, R. Agustín-Panadero, et J. M. Álvarez, « Accuracy of Computer-Aided Dynamic Navigation Compared to Computer-Aided Static Procedure for Endodontic Access Cavities: An in Vitro Study », *J Clin Med*, vol. 9, n° 1, p. 129, janv. 2020, doi: 10.3390/jcm9010129.
- [20] C. R. Adams, R. Ammoun, G. R. Deeb, et S. Bencharit, « Influence of Metal Guide Sleeves on the Accuracy and Precision of Dental Implant Placement Using Guided Implant Surgery: An In Vitro Study », *J Prosthodont*, vol. 32, n° 1, p. 62-70, janv. 2023, doi: 10.1111/jopr.13503.
- [21] K. C. Oh, J.-S. Shim, et J.-M. Park, « In Vitro Comparison between Metal Sleeve-Free and Metal Sleeve-Incorporated 3D-Printed Computer-Assisted Implant Surgical Guides », *Materials (Basel)*, vol. 14, n° 3, p. 615, janv. 2021, doi: 10.3390/ma14030615.
- [22] M. Tallarico *et al.*, « Accuracy of Computer-Assisted Template-Based Implant Placement Using Two Different Surgical Templates Designed with or without Metallic Sleeves: A Randomized Controlled Trial », *Dent J (Basel)*, vol. 7, n° 2, p. 41, avr. 2019, doi: 10.3390/dj7020041.

**APPORT DE L'APPROCHE NUMERIQUE EN ENDODONTIE ET RAPPORT DE
CAS**

RESUME EN FRANÇAIS :

La réalisation d'un traitement endodontique satisfaisant nécessite un accès au système endocanalair pouvant être compliqué par une minéralisation, des antécédents pathologiques et thérapeutiques. La discipline endodontique bénéficie de l'avènement des guides de forage, qu'ils soient statiques ou dynamiques. Ces derniers représentent une aide précieuse dans la recherche canalaire et diminuent de manière non négligeable le risque d'échec en comparaison à la recherche à main levée. L'objectif de ce travail est de mettre en valeur l'intérêt de l'endodontie guidée.

TITRE EN ANGLAIS : Interest of numerical methods in endodontics and case reports

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire

MOTS-CLES : endodontie guidée, guidage statique, guidage dynamique, minéralisation

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
Cedex 09

Directeur de thèse : Dr GURGEL-GEORGELIN Marie (MCU-PH)