

UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTÉ DE SANTÉ – DÉPARTEMENT D'ODONTOLOGIE

ANNEE 2023

2023 TOU3-3083

THÈSE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE
DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

DOMERGUE Mélanie

le 30 octobre 2023

CANAUx MINÉRALISÉS : ÉTUDE COMPARATIVE ENTRE
L'ENDODONTIE GUIDÉE VERSUS NAVIGUÉE

Directeur de thèse : Dr. GURGEL-GEORGELIN Marie

JURY

Président :	Pr. BLASCO Vincent
1 ^{er} assesseur :	Dr. GURGEL-GEORGELIN Marie
2 ^{ème} assesseur :	Dr. GALIBOURG Antoine
3 ^{ème} assesseur :	Dr. MINTY Matthieu



...

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 Adjoints

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
Adjoints 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
Adjoints d'Enseignement : Mme. Isabelle ARAGON

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

Professeurs d'Université : M. Michel SIXOU, Mme Catherine NABET, M. Olivier HAMEL, M. Jean-Noël VERGNES
Maîtres de Conférences : Mme Géromine FOURNIER
Adjoints 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
Adjoints d'Enseignement : M. Loïc CALVO, M. Christophe LAFFORGUE, M. Antoine SANCIER, M. Ronan BARRE ,
Mme Myriam KADDECH, M. Matthieu RIMBERT,

CHIRURGIE ORALE

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

BIOLOGIE ORALE

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

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale

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

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

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

PROTHÈSES

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

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

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

Mise à jour pour le 01 Septembre 2023

Remerciements

À mes parents, maman, papa, je vous remercie d'avoir toujours cru en moi, de m'avoir soutenue avec beaucoup d'amour et donné toutes les chances pour réussir mes études. C'est grâce à vous, vos sacrifices et la confiance que vous m'avez accordée qu'aujourd'hui je clôture ce parcours étudiant pour me lancer dans la vraie vie. Je vous en suis reconnaissante.

À ma sœur, merci d'être celle que tu es, qui me soutient et me chouchoute malgré que je sois ta grande sœur. A tous nos souvenirs magiques et nos futures aventures à vivre ensemble. Merci, ma petite sœur adorée.

À mes grands-parents, mamies, papi, Michel merci pour ces beaux souvenirs d'enfance. Merci d'avoir toujours répondu présents lorsque je vous ai sollicité et de continuer encore aujourd'hui. J'espère vous rendre fiers.

A mon grand-père, papi Bernard, parti trop tôt, j'espère que tu serais fier de tout ce chemin parcouru. Tu veilles sur moi depuis là-haut.

À ma famille, merci pour tous ces moments partagés. Vous êtes chers à mes yeux.

À Juliette et Nicolas, mes amis d'enfance et de toujours. Vous m'avez toujours encouragée dans les bons comme les mauvais moments. Vous faites partie de ma famille. Nous avons traversé bien des choses ensemble ... Je suis impatiente de voir ce que l'avenir nous réserve.

A Mélanie, merci d'avoir partagé ces belles années et de les continuer encore. Tu as toujours été de bons conseils et présente pour les moments importants. Une belle amitié est née de cette rencontre les pieds dans la boue.

A Marine, ma binôme, je te remercie pour tous ces moments à la clinique mais aussi lors des premiers remplacements. Tu es également devenue une vraie amie. Même séparées de milliers de kilomètres, chacune sur notre île, tu me restes très proche.

A mes camarades d'étude, Alicia, Pauline, Sylvie, Henri, Anthony, Guillaume, Dine, Lola, Elo, Inès, Margaux, Pierre, merci d'avoir partagé ces 5 ans d'études aux émotions intenses. Vous avez été présents au quotidien, pour les rires, les pleurs mais aussi pour les voyages et pour cela je vous en remercie.

A mes amies de PACES, Valentine et Éloïse, rencontrées sur les bancs de la fac, nous avons vécu ensemble les doutes du concours et le bonheur de s'épanouir chacune dans notre filière. Merci de votre patience et de votre écoute.

A mes amis d'enfance et du lycée, vous qui avez suivi et partagé mes folies, merci d'être vous.

A Céline, qui a permis la continuité et la réalisation de ce travail pendant mon absence. Merci de m'avoir accompagnée tout du long.

A notre Président du jury,

Monsieur le Professeur BLASCO Vincent,

- Professeur des Universités Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Diplôme Inter-Universitaire d'Endodontie de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse,
- Diplôme Universitaire de Pédagogie en Santé de l'université Paul Sabatier,
- Responsable Diplôme Universitaire de Médecine bucco-dentaire du Sport,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier,
- Habilitation à Diriger des Recherches (HDR),
- Co-responsable AEU Micro-Chirurgie Endodontique,
- Responsable Equipe Intestin clinc comics Oral Microbiote INCOMM/INSERM

Vous me faites l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse.

J'ai pu apprécier tout au long de mon cursus la justesse et la qualité de votre enseignement. Votre approche clinique et vos précieux conseils m'ont beaucoup apporté lors de mon activité

clinique et y contribuent encore aujourd'hui.

Je vous porte aujourd'hui une profonde considération.

A notre jury de thèse,

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

*Je vous remercie d'avoir accepté la direction de cette thèse, et de m'avoir accompagnée pour
réaliser ce travail.*

*Tout au long de ces années d'études, j'ai eu le plaisir de vous avoir comme enseignante,
encadrante en clinique, et enfin comme directrice de thèse. Je vous remercie du temps que
vous m'avez consacré, de votre disponibilité et des moments partagés lors de mon étude.*

Veillez trouver ici le témoignage de ma plus grande gratitude.

A notre jury de thèse,

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

Je vous exprime mes respectueux remerciements pour avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse. Merci pour votre implication et disponibilité à mon égard durant ce travail.

Je tiens en outre à vous remercier pour la qualité de vos enseignements en implantologie, votre savoir-faire, et votre rigueur.

Veillez trouver ici le témoignage de mon respect.

A notre jury de thèse,

Docteur MINTY Matthieu,

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Diplôme d'État de Docteur en Chirurgie-Dentaire,
- Master 1 de Biologie de la Santé en « Anthropologie » et « Physiopathologie des infections »,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier,
- Diplôme Inter-Universitaire MBDS : Médecine Bucco-Dentaire du Sport,
- Certificat d'étude supérieure d'Odontologie Conservatrice – Endodontie – Biomatériaux,
- Master 2 Physiopathologie des infections,
- AEU de biomatériaux,
- Thèse universitaire de biologie

Merci d'avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse.

*En travaillant à tes côtés en 4^{ème} année j'ai pu appréhender avec confiance et bienveillance
les premiers gestes cliniques.*

Je te remercie pour ta bonne humeur constante et ta gentillesse.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	12
PARTIE I : Données actuelles sur la minéralisation pulpaire et l'anatomie canalaire des incisives mandibulaires	13
I – La minéralisation pulpaire	13
1) Définition	13
2) Étiologie	13
3) Manifestations cliniques	14
4) Prévalence	15
5) Conséquence sur le traitement endodontique	15
II - Anatomie incisives mandibulaires	16
1) Description et dimensions	16
2) Schéma	16
3) Variabilités de l'anatomie interne canalaire d'une incisive mandibulaire	18
PARTIE II : Données actuelles sur la chirurgie naviguée	19
I – Introduction	19
II – Présentation du Nobel X-Guide®	19
III – Iconographies	20
1) Présentation du matériel	20
1.1) Le boîtier	20
1.2) Les trackers	22
1.3) Le X-Clip	22
1.4) La sonde X-Mark	23
1.5) La Go-Plate	23
2) Flux de travail avec le X-Guide®	23
2.1) La planification	24
2.2) L'étalonnage	24
2.3) La chirurgie	24
3) Protocole type dans l'utilisation du X-Guide®	24
IV – Conclusion	25
PARTIE III : réalisation des expérimentation	28
I - Objectifs	28
1) Principal	28
2) Secondaires	28
II – Matériels et méthodes	28
1) Choix des dents numériques	28
2) Montage des dents numériques et création des arcades	29
3) Les expérimentateurs	30
4) Création des groupes	30
5) La radiographie pré opératoire	31
6) Planification	32
7) La radiographie post-opératoire	32
III – Protocole étape par étape	33
1) Protocole pour l'endodontie naviguée	33
2) Protocole pour l'endodontie guidée	33
IV – Résultats	34
1) Résultats de l'expérimentation en endodontie guidée	34

2) Résultats de l'expérimentation en endodontie naviguée	37
3) Coûts d'une endodontie réalisée avec le X-Guide®.....	39
V - Discussion.....	39
1) Discussion autour du matériels et méthodes	39
1.1) Biais liés au choix des dents	39
1.2) Biais liés à la résine	39
2) Discussion autour des résultats	40
2.1) Biais inter-opérateur	40
2.2) Biais intra-opérateur	40
2.3) Difficultés rencontrées en endodontie guidée	40
2.4) Difficultés rencontrées en endodontie naviguée	41
2.5) La planification	43
3) Discussion autour des objectifs secondaires	43
3.1) Perte de substance lors de l'aménagement de la voie d'accès	43
3.2) Temps d'exécution	44
4) Améliorations de protocole proposées	45
CONCLUSION.....	46
INDEX DES FIGURES.....	47
BIBLIOGRAPHIE	48

INTRODUCTION

Nombreuses sont les modifications physiopathologiques qui peuvent entraîner la disparition partielle ou totale de la lumière canalaire. Cela a pour conséquence d'augmenter considérablement les difficultés de nos traitements endodontiques lorsque ceux-ci doivent être entrepris.

En outre, la manifestation clinique d'une oblitération canalaire ne renseigne pas systématiquement sur le statut histologique pulpaire. (1)

Ainsi, le rétrécissement de la lumière canalaire peut refléter deux types d'évolutions majeures : soit une évolution physiologique liée à l'âge ou à la sénescence ; soit une évolution réactionnelle ou réparatrice face à une agression extérieure ou dégénérescence calcique. (2)

Malgré des outils de plus en plus performants, réaliser le traitement endodontique d'une incisive minéralisée reste un acte complexe pour les chirurgiens-dentistes y compris pour les plus spécialisés d'entre eux.

De nos jours, l'apport des nouvelles technologies nous permet de repousser les limites de la dentisterie et particulièrement de l'endodontie.

En effet, des cas pouvant être jugés impossibles à appréhender par le passé peuvent désormais l'être grâce à l'imagerie médicale et le guidage interactif.

Néanmoins, la navigation dynamique est-elle une force supplémentaire face aux canaux minéralisés ? La navigation interactive pourrait-elle en devenir une indication majeure ? C'est à travers cette problématique que cette thèse va s'organiser.

Dans un premier temps, nous rappellerons les différentes anatomies canalaires des incisives mandibulaires et les minéralisations canalaires physiopathologiques qui peuvent en découler.

Dans un second temps nous aborderons la chirurgie naviguée avec le robot X-Guide® de chez NobelBiocare™ tout en faisant le parallèle avec son utilité en endodontie.

Enfin, nous mettrons en avant l'efficacité et l'utilité d'un protocole de prise en charge endodontique des dents monoradiculaires minéralisées quand le traitement endodontique conventionnel paraît insuffisant.

PARTIE I : Données actuelles sur la minéralisation pulpaire et l'anatomie canalaire des incisives mandibulaires

I – La minéralisation pulpaire

1) Définition

Pour mener à bien une procédure de pulpectomie, le praticien doit maîtriser les paramètres comme l'anatomie canalaire radiculaire, les protocoles endodontiques (qualité de mise en forme, qualité de désinfection, qualité de l'étanchéité de l'obturation et de la restauration coronaire). Cependant il doit avant tout anticiper les difficultés thérapeutiques et notamment les minéralisations pulpaires.

Définition : les minéralisations pulpaires également appelées pulpolithes (de « *pulpo* » la pulpe dentaire et « *lithé* » pierre en grec ancien) sont des dépôts de tissu calcifié au sein de la pulpe et de ses parois formant des amas nommés des calcifications. La minéralisation pulpaire est un terme général désignant à la fois les calcifications pulpaires (CPP) et les appositions de dentine secondaire et/ou tertiaire. (3)

De découverte fortuite le plus souvent, les minéralisations sont généralement présentes aux entrées canalaire, dans la chambre pulpaire, mais peuvent aussi se retrouver dans l'orifice canalaire radiculaire, particulièrement si le canal est large. Lorsqu'elles sont internes au tissu pulpaire, leur élimination est souvent simple.

2) Étiologie

Il existe quatre types d'étiologies à la minéralisation de la pulpe :

- La sénescence pulpaire physiologique due à l'âge. Elle entraîne un dépôt de dentine secondaire physiologique pouvant réduire considérablement voire totalement cette lumière canalaire. (4) Il faut cependant noter que sans agression dentaire apparente, on ne rencontre pas d'oblitération totale de la pulpe de manière physiologique avant 70 ans.
- Les étiologies idiopathiques (5)

- Les étiologies pathologiques d'ordre général
- Les étiologies pathologiques locales c'est-à-dire les agressions pulpaire
 - Bactériennes : carie, maladie parodontale
 - Mécaniques : traumatismes occlusaux tels que l'usure, l'orthodontie, l'agression mécanique iatrogène lors de la préparation de la dent, les traumatismes dentaires lors des chutes ou coups (6)
 - Thermiques : préparation du tissu dentaire, ultrasons, photopolymérisation, laser
 - Chimiques : érosion, matériaux utilisés dans les manœuvres thérapeutiques en dentisterie restauratrice ou en dentisterie conservatrice du complexe dentino-pulpaire (coiffage)

Dans notre étude, nous nous intéressons de manière plus précise à la minéralisation adaptative et agressive chronique. Cela correspond à la sénescence et à certaines étiologies pathologiques locales dont les majeures sont la carie, les traumatismes occlusaux, les agressions thermiques, les matériaux utilisés en dentisterie conservatrice et restauratrice.

3) Manifestations cliniques

Les minéralisations pulpaire se manifestent cliniquement de deux manières (5) :

- Localement. On parle alors de pulpolithes ou minéralisations focales. Il existe une classification des pulpolithes selon leur structure et selon leur disposition.
- De manière diffuse. On parle alors de minéralisations diffuses.

Par ailleurs, du fait de ces dernières, la lumière canalaire se retrouve partiellement voire totalement oblitérée, peut ne plus être objectivable sur une radiographie 2D (rétro alvéolaire) et même difficilement visible sur un CBCT petit champ 75 microns.

4) Prévalence

Selon la littérature, la prévalence d'une oblitération pulpaire après un traumatisme varie grandement allant de 3,7% à 40% des cas (7) (8).

Ces disparités peuvent s'expliquer par la différence observée dans des échantillons étudiés. Le développement de l'oblitération dépend de deux principaux facteurs : le type de traumatisme et le stade d'édification radiculaire au moment de l'agression.

Dans les cas de traumatismes la minéralisation concerne 3% des dents permanentes immatures et 7% des dents permanentes matures. C'est lors d'extrusions et de luxations que la fréquence des oblitérations augmente (8).

Dans leur étude de 1977 Jacobsen & Kerekes ont établi que la fréquence de la parodontite apicale augmentait de 10% au bout de plus de 15 ans sur des traumatismes aigus. Dans ces contextes, il est à noter que l'évolution vers la nécrose pulpaire a le plus souvent lieu pour les dents dont l'édification radiculaire est terminée.

Dans un contexte de dégénérescence pulpaire et de calcification adaptative, la nécrose pulpaire est une possible complication tardive de la dégénérescence pulpaire bien que rare : selon les études cette complication intéresse entre 1% et 27,5% des dents présentant un canal calcifié et concerne le plus souvent des dents dyschromiées à teinte grisâtre plutôt que celles à teinte jaunâtre (9).

5) Conséquence sur le traitement endodontique

Le traitement canalaire en cas d'oblitération est considéré comme difficile par l'American Association of Endodontist (AAE) même pour les praticiens expérimentés (9). Ainsi, selon Cverk et al, le taux d'échecs endodontiques sur les dents présentant une oblitération du canal pulpaire atteint 20% et 71% pour les incisives mandibulaires (10).

La recherche d'un canal minéralisé peut entraîner une perte excessive de tissus sain, coronaire et radiculaire, favoriser les déviations canalaires et fausses routes, majore de 65% les risques de perforation et empêche l'accès au péri apex (11). Ainsi le traitement endodontique ne devrait être réalisé que si une symptomatologie est présente.

II - Anatomie incisives mandibulaires

1) Description et dimensions

Dans notre travail, nous nous intéressons aux incisives mandibulaires majoritairement.

J.Lavergne dans son ouvrage « bulletins et mémoires de la société d'anthropologie de Paris », tome 1, série XIII, 1974 (page 354) (12) a recensé les dimensions moyennes des incisives mandibulaires : https://www.persee.fr/doc/bmsap_0037-8984_1974_num_1_3_2096

- Le diamètre mésiodistal de l'incisive centrale mandibulaire est 55,35 (1/10° mm)
- Le diamètre vestibulo-lingual de l'incisive centrale mandibulaire est 55,88 (1/10° mm)
- Le diamètre mésiodistal de l'incisive latérale mandibulaire est 61,17 (1/10° mm)
- Le diamètre vestibulo-lingual de l'incisive latérale mandibulaire est 61,96 (1/10° mm)

En outre, l'incisive mandibulaire est plus fine que celle maxillaire (13). Elle une racine aplatie en mésiodistal dont la forme reste ovoïde de cervical en apical. L'incisive mandibulaire latérale est généralement dédoublée au niveau de ses canaux.

2) Schéma

Sur la figure ci-dessous issue de l'ouvrage « arcade dentaire humaine, morphologie » écrit par Maurice CRETOT (dernière parution en 2013) (14), on visualise le schéma d'une section verticale de 41 en vue vestibulaire, des sections radiculaire (cervicale, médiane et apicale), d'une section sagittale de la même 41 et d'une section sagittale d'une 42 avec ses sections radiculaire (cervicale, médiane et apicale).

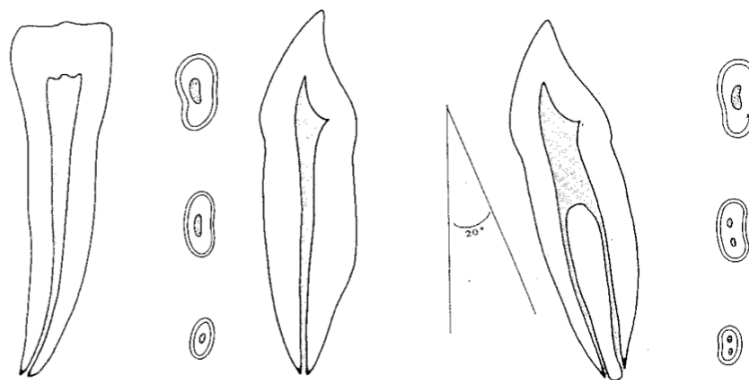


Figure 1 : section verticale et radiculaire de 41, section sagittales et radiculaire de 42

Sur les photos ci-dessus on visualise un incisive centrale mandibulaire en vue vestibulaire puis en vue mésiale. Puis on observe une coupe perpendiculaire et une coupe axiale de cette dernière.

Ci-dessous sur la gauche : images issues de la segmentation d'une incisive centrale (41) sur un individu de 77 ans. Il s'agit d'une vue vestibulaire et d'une vue mésiale.

Sur la droite : images issues de la segmentation d'une incisive centrale (41) sur un individu de 27 ans. Il s'agit d'une vue vestibulaire et d'une vue mésiale.

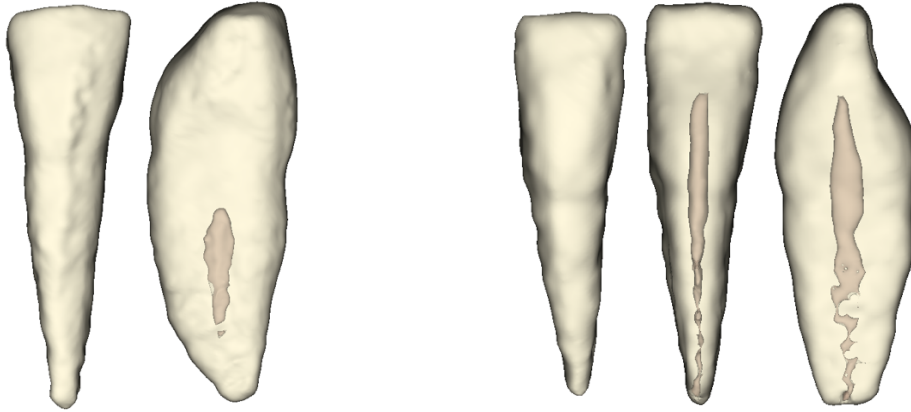


Figure 2 : segmentation de 41 en vue vestibulaire et mésiale à 77 (gauche) et 27ans (droite)

Ci-dessous sur la gauche : images issues de la segmentation d'une incisive latérale (42) sur un individu de 77 ans. Il s'agit d'une vue vestibulaire et d'une vue mésiale.

Sur la droite : images issues de la segmentation d'une incisive centrale (42) sur un individu de 27 ans. Il s'agit d'une vue vestibulaire et d'une vue mésiale.

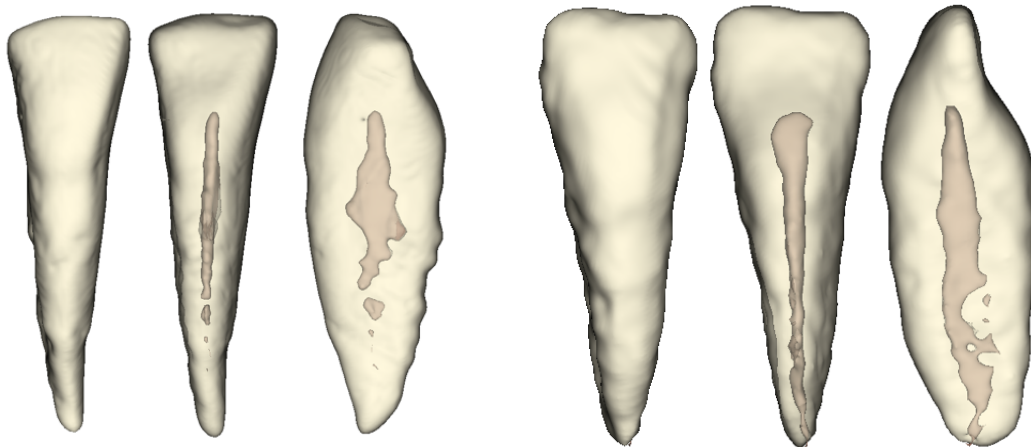


Figure 3 : segmentation de 42 en vue vestibulaire et mésiale à 77 (gauche) et 27ans (droite)

3) Variabilités de l'anatomie interne canalaire d'une incisive mandibulaire

Dans 70 à 75% des cas les incisives mandibulaires présentent un seul canal : il s'agit du type I selon la classification de Vertucci (15).

Dans les 30 à 25% des cas restant les incisives mandibulaires présentent 2 canaux, un vestibulaire et un lingual. Ces derniers peuvent ou non se rejoindre au niveau du foramen :

- La configuration interne composée de 2 canaux se rejoignant dans le tiers apical en un unique foramen (type II et/ou III selon la classification de Vertucci) concerne 25% des incisives centrales et 30% des incisives latérales
- La configuration interne composée de 2 canaux ne se rejoignant pas et aboutissant à 2 foramens distincts (type IV selon la classification de Vertucci) concerne 5% des incisives centrales et 15% des incisives latérales. Cette dernière configuration est occasionnelle comme l'ont décrit Benjamin et Dowson en 1974 (16).

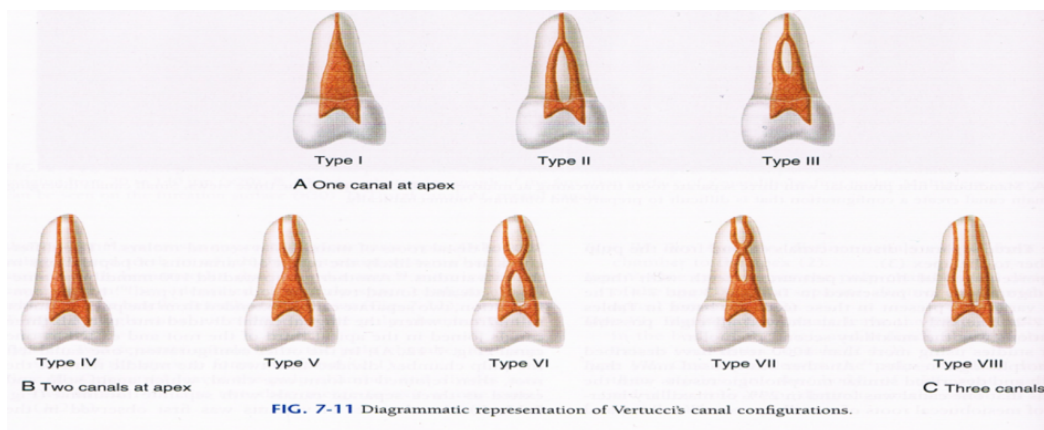


Figure 4 : classification de Vertucci

En outre des variabilités décrites ci-dessus, il faut être conscient des risques d'anatomie particulière tels que les courbures de la racine ou autres aberrations anatomiques. De la même manière le foramen apical ne se situe pas toujours à l'apex de la racine mais peut en être dévié.

Dans notre étude nous établirons plusieurs situations cliniques canalaire volontairement au niveau coronaire puisque nous aurons des incisives centrales, latérales, canines et prémolaires. Dans tous les cas, nous resterons sur des dents monoradiculaires.

PARTIE II : Données actuelles sur la chirurgie naviguée

I – Introduction

Les systèmes de navigation dynamique permettent au chirurgien-dentiste de localiser la position des instruments continuellement avec une mise à jour en temps réel pendant la chirurgie afin d'aboutir à une placement tridimensionnel précis des implants (placement, angulation et profondeur) (17).

Une planification implantaire est basée sur deux éléments qui sont un projet prothétique d'une part et une imagerie tridimensionnelle d'autre part. Ces derniers vont permettre de calculer et planifier le positionnement tridimensionnel de l'implant. Ensuite, la planification virtuelle est retranscrite en réel durant le temps chirurgical. Ce dernier peut être effectué selon trois méthodes :

- A main levée (réalisée sans guidage, ni statique ni dynamique),
- Avec un guide statique,
- Avec un guide dynamique.

Des études de 2005 ont permis de mettre en avant une plus grande précision du système de navigation par rapport à une chirurgie à main levée (18). De plus, de nombreuses études comparatives existent entre les méthodes de navigation dynamique et statique. Malgré des avantages et inconvénients propres à chaque méthode, les procédures de navigation statique et dynamique assistées par ordinateur permettent toutes les deux un placement précis de l'implant (19) (18).

II – Présentation du Nobel X-Guide®

Le Nobel X-Guide® est un système mobile de robotique passive développé par la firme XNav™ Technologies en 2015. Ce système de navigation en 3D dynamique permet d'une part la réalisation de la planification implantaire et d'autre part le report de la planification en bouche donc le guidage de l'opérateur en temps réel lors de l'intervention.

Son fonctionnement repose sur l'utilisation d'une technologie électro-optique permettant le suivi de la pièce à main tenue par l'opérateur et le suivi d'un tracker placé sur le patient. Pour cela, une source de lumière bleue est placée au-dessus du patient et du praticien. De plus, des trackers (ou clips) sont positionnés sur l'arcade dentaire du patient grâce à la technologie X-Clip ainsi que sur le contre-angle qui va servir à la chirurgie. Les trackers vont alors réfléchir la lumière bleue qui sera par la suite captée par un dispositif de télémétrie (2 caméras) intégré au boîtier de lumières ultra-violettes (UV). Par la suite, les informations réfléchies et captées sont retransmises sur l'écran de contrôle et regroupées avec la planification implantaire souhaitée et réalisée en amont. Ainsi, les implants pourront être positionnés conformément à la planification implantaire.

L'utilisation du X-Guide® dans la mise en place d'implant dentaire en vue de réhabilitation prothétique est sûre et prévisible. (20)

III – Iconographies

1) Présentation du matériel

1.1) Le boîtier

Ce dernier est composé de 3 éléments :

- Le scialytique émetteur de la lumière bleue
- Les 2 caméras permettant de capter la réflexion de la lumière bleue.
- L'écran de contrôle à la navigation dynamique (X-Nav™)

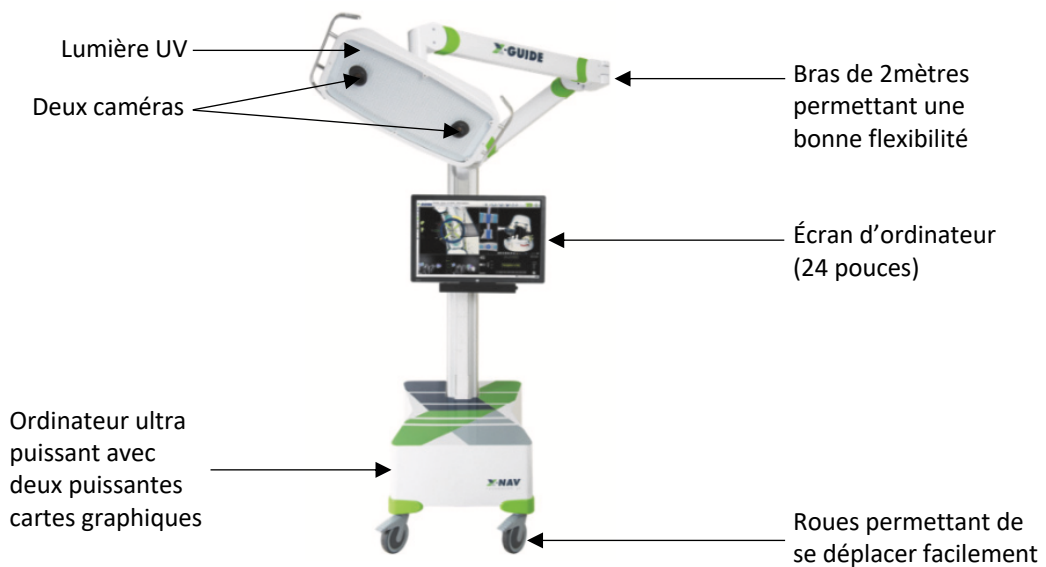


Figure 5 : X-Guide®

L'écran de contrôle est divisé en 3 parties :

- Un système de cible sur lequel apparaissent 3 éléments
 - Un point bleu ou X-Point correspondant à l'émergence de l'implant (position)
 - Un cylindre reconstituant l'axe de l'implant (angulation)
 - Une jauge de profondeur disposée autour de la cible
- Les reconstitutions multiplanaires ou coupe MRP (Materials Requirements Plannings). Il s'agit de la planification implantaire globale avec la superposition du fichier STL, du projet prothétique et du contour virtuel du foret.
- Le retour vidéo des caméras du système de télémétrie. Il permet de voir que le système fonctionne correctement.

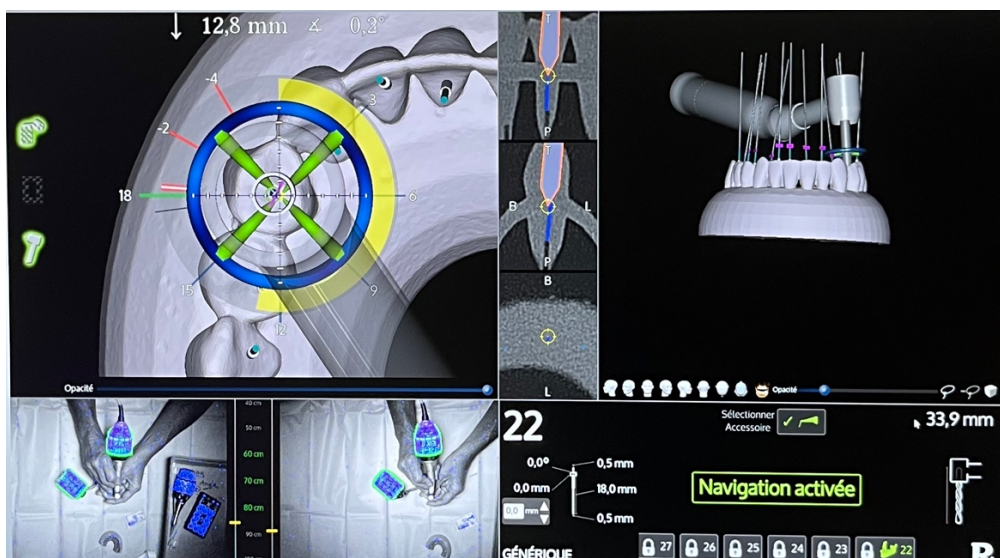


Figure 6 : écran du X-Guide® en cours d'utilisation

1.2) Les trackers

Les trackers sont des « QR code » permettant la réflexion de la lumière bleue émise par le scialytique. Ils sont placés sur le contre-angle servant à la chirurgie, sur le trackers patient fixé au X-Clip, sur la sonde X-Mark lorsqu'elle est utilisée et sur la Go-Plate. Ils permettent à l'écran de contrôle de positionner en temps réel la main du chirurgien et le patient.



Figure 7 : trackers sur contre angle chirurgical et sur X-Clip

1.3) Le X-Clip

Il s'agit du dispositif porté en bouche par le patient lors du CBCT et lors de l'intervention. Il s'agit d'un élément thermoformé et fixé sur l'arcade du patient durant toute la durée de l'intervention. Ce dernier ne doit pas être déplacé entre l'examen d'imagerie et la phase chirurgicale ou bien il doit être repositionné à l'identique.

Il doit être positionné à l'opposé du secteur réhabilité.



Figure 8 : X-Clip

Par ailleurs, il existe également le E-Clip. Ce dispositif est une variante du X-Clip adaptée au patient édenté total. Il est fixé directement dans l'os sur des repères de référence.

1.4) La sonde X-Mark

Il s'agit d'une sonde permettant de s'affranchir du X-Clip lors de l'examen tomographique. En effet, la sonde X-Mark permet un procédé d'enregistrement virtuel du patient (dentaire et osseux).

Pour cela il est nécessaire de choisir 3 points de référence sur le CBCT réalisé précédemment. Puis de venir pointer avec la sonde X-Mark ces mêmes 3 points de référence en bouche. Cela est rendu possible car la sonde X-Mark est équipée de trackers. (21)



Figure 9 : sonde X-Mark

1.5) La Go-Plate

La Go-Plate est une petite plateforme en céramique utilisée pour la calibration des forets et des mandrins lors de l'intervention chirurgicale.



Figure 10 : Go-Plate

2) Flux de travail avec le X-Guide®

Le système X-Nav™ présente une barre de menu facilitant sa fonctionnalité. Elle divise le flux de travail en 3 catégories interdépendantes : la planification, l'étalonnage, la chirurgie (22).

2.1) La planification

La planification implantaire ne peut être réalisée qu'après réalisation d'un examen de tomographie volumique à faisceau conique (CBCT).

Grâce au CBCT, le chirurgien-dentiste via le logiciel dédié du système X-Guide® planifie l'intervention en plaçant virtuellement un implant aligné et orienté dans la direction de l'emplacement souhaité. Le chirurgien-dentiste décide de la planification souhaitée selon les paramètres standards (anatomiques, osseux, nerveux, ...)

A la suite de cette étape, la représentation est transférée vers le système de navigation chirurgical X-Guide® en prévision de la chirurgie implantaire.

2.2) L'étalonnage

Le calibrage permet de repérer et de positionner dans l'espace le contre-angle qui va servir à opérer la chirurgie. Cela permet d'avoir la position du contre-angle et donc de la main du chirurgien en temps réel par rapport à la planification. De cette manière, le positionnement relatif de la pointe de l'instrument par rapport au trackers du contre-angle est connu.

2.3) La chirurgie

Le système X-Guide® permet le déroulement de la chirurgie souhaitée avec précision. En effet, la position des instruments et du patient sont connues et mises en parallèle continuellement avec la représentation préopératoire.

3) Protocole type dans l'utilisation du X-Guide®

- Revue du dossier médical et prescription des médicaments pré-opératoire. Lors de la mise en place d'un implant chez le patient sain, les recommandations indiquent la prescription d'une antibioprophylaxie (23) (24), des anti-inflammatoires stéroïdiens (25), des antalgiques de type anti-inflammatoires non stéroïdiens (25).
- Examen clinique et numérisation des arcades dentaires du patient (fichier STL)

- Examens radiologique tridimensionnel : CBCT avec X-Clip en bouche, placé à l'opposé du secteur qui va être réhabilité
- Téléchargement et superposition des fichiers STL et DICOM dans le système X-Guide®
- Planification et réalisation du projet prothétique virtuel +/- choix des 3 points de référence utiles à la technologie X-Mark
- Phase chirurgicale
 - Aseptie de la zone opératoire
 - Anesthésie locale
 - Mise en place du X-Clip dans la position exacte où il se trouvait lors de la tomographie ou bien pointage des 3 points de références déterminés précédemment sur le CBCT
 - Étalonnage du contre-angle, du X-clip ou de la sonde X-Mark
 - Calibrage des forets grâce à la Go-Plate. A chaque changement de foret il faudra réeffectuer ce calibrage.
 - Ainsi les 3 éléments sont interconnectés et peuvent communiquer en même temps des informations au logiciel de navigation X-Nav™ du X-Guide®
 - Forage implantaire : le cercle blanc représentant la tête du contre angle doit rester dans le cercle central. La cible est entourée d'une jauge de profondeur dont la couleur change au fur et à mesure que la profondeur de forage finale est approchée. Lorsqu'elle est atteinte, la jauge devient rouge et un signal sonore avertit le praticien. Ce dernier peut alors stopper le forage.
 - Mise en place précise de l'implant (profondeur et angulation)
 - Mise en place des vis de cicatrisation
 - Réalisation des sutures

IV – Conclusion

Le système de navigation 3D X-Guide® proposé par XNav™ offre au chirurgien-dentiste tous les avantages de la chirurgie guidée (voir tableau ci-dessous).

Aujourd'hui, la chirurgie naviguée a toute sa place dans le domaine implantaire étant donné son degré de précision, sa rapidité (aucun délai de fabrication concernant les guides en chirurgie

guidée statique (26)), sa flexibilité (27), son accessibilité et sa visibilité notamment en terme d'irrigation, son ergonomie et l'aseptie complète ((22) page 58).

Ses inconvénients résident principalement en 5 éléments qui sont son coût, l'encombrement du système, la courbe d'apprentissage nécessaire à sa bonne utilisation, son guidage non contraint pouvant laisser place à des erreurs et l'absence de vision du champ opératoire (27,28).

Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des systèmes de navigation implantaire (21)

Avantages + / Inconvénients -	Navigation mentale (main levée)	Guidage statique	Navigation dynamique
Ergonomie	+/-	+/-	+
Précision	-	+	+
Flexibilité du plan de traitement	+	-	+
Morbidité	+	+	+/-
Courbe d'apprentissage	-	+	+/-
Aseptie	+	+/-	+
Coût	+	+/-	-
Accessibilité	+/-	+/-	+
Irrigation du site	+	-	+
Intervention mini invasive	-	+	+

Partant du constat très positif quant à l'utilisation du X-Guide® en implantologie, le questionnement concernant son utilisation en endodontie s'impose.

En effet, réaliser l'endodontie d'un canal minéralisé sur une dent monoradiculée est un acte complexe de par les difficultés à y pénétrer. L'utilisation de la navigation avec le X-Guide® sur cet acte paraît être appropriée puisqu'il permettrait de guider visuellement une étape qui se fait à l'aveugle, de visualiser la progression du foret et ainsi de rester dans une zone de sécurité pour opérer le patient.

De précédentes études montrent d'une part que les procédures de navigation statique et dynamique assistées par ordinateur permettent un accès endodontique plus précis et plus sûr aux canaux que les techniques conventionnelles à main levée (29). D'autre part, utiliser les systèmes de navigation dynamique en endodontie est plus précis et efficace que la technique à main levée pour localiser les canaux calcifiés. Cela permet aux chirurgiens-dentistes un

meilleur accès aux canaux des dents minéralisées évitant ainsi les accidents liés à la difficulté de l'acte (30).

Nous proposons ainsi un protocole d'utilisation d'X-Guide® en endodontie.

PARTIE III : réalisation des expérimentation

I - Objectifs

1) Principal

L'objectif principal de cette étude est de comparer l'efficacité des 2 systèmes de guidage (guidé versus navigué) selon un critère d'évaluation simple : canal trouvé ou non.

Le but de cette étude est de démontrer que le X-Guide® est un outil adapté et indiqué dans la recherche canalaire des dents monoradiculaires minéralisées.

2) Secondaires

Les objectifs secondaires de l'étude sont listés ci-dessous :

- Évaluer la perte de substance lors de l'aménagement de la voie d'accès. C'est-à-dire évaluer sur les 3 niveaux radiculaires, le degré de déviation et le mesurer en mm,
- Évaluer le temps d'aménagement de la cavité d'accès d'une dent monoradiculaire c'est-à-dire le temps d'exécution
- Évaluer le temps nécessaire à la conception/impression dans le cas de l'endodontie guidée et le temps nécessaire à la planification/calibration dans le cas de l'endodontie naviguée,
- Évaluer le coût de réaliser une endodontie avec le X-Guide®

II – Matériels et méthodes

1) Choix des dents numériques

La racine de référence choisie est celle d'une dent monoradiculée présentant un canal minéralisé de 4mm de haut et 1mm de diamètre. Ce canal reste objectivable au CBCT dans le dernier tiers apical.

L'aspect coronaire a volontairement était modélisé de manière variée afin d'éviter une amélioration de la performance en lien avec la répétition d'un même geste.

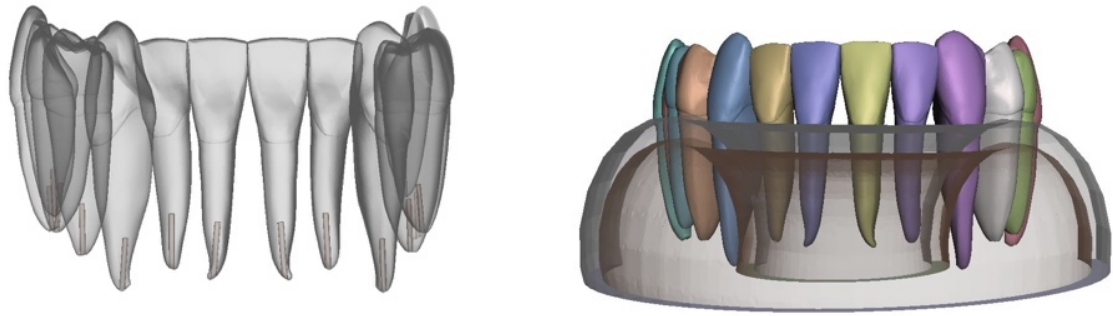


Figure 11 : arcades dentaires numériques

2) Montage des dents numériques et création des arcades

Dans le but d'obtenir une standardisation du modèle, un modèle numérique sous le format d'arcade dentaire a été choisi afin que l'orientation radiculaire ne puisse être perçue. Cela permet de se rapprocher des situations cliniques.

De plus, l'utilisation de résine permet une reproductibilité de la minéralisation canalaire. Il s'agit ici d'une procédure purement expérimentale non superposable à un geste clinique (où la minéralisation varie et est propre à chaque canal).

Il s'agit d'un modèle en résine lavable à l'eau (résine photopolymère lavable à l'eau ELEGOO (31)) pouvant contenir 14 dents recréées numériquement à partir de la dent mère choisie.

Les arcades en résine ont été coulées par apposition/photopolymérisation.

Grâce à l'utilisation du X-Mark, il a été possible de s'affranchir du X-Clip.

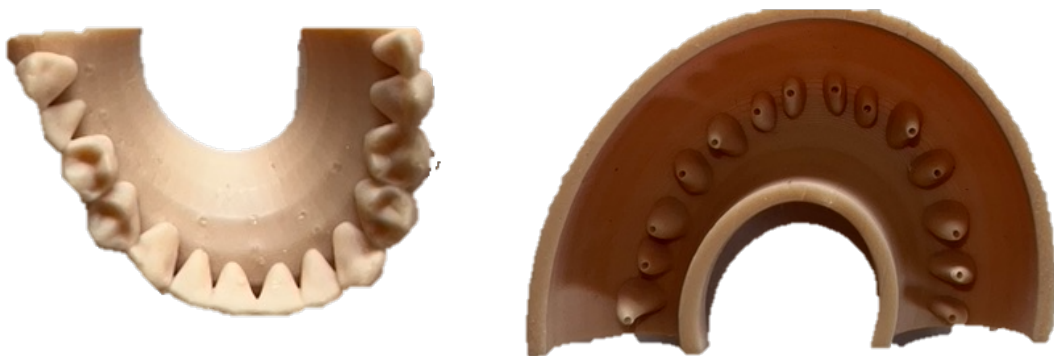


Figure 12 : arcades dentaires en résine ELEGOO

3) Les expérimentateurs

Expérimentateur A : formé à l'utilisation de guide statique mais novice dans l'utilisation du X-Guide®. Il s'agit d'un chirurgien-dentiste spécialisé en endodontie.

- Réalise une expérimentation sur une arcade en guidage statique,
- Réalise une expérimentation sur une arcade en guidage dynamique.

Expérimentateur B : formé à l'utilisation de guide statique en implantologie et formé également à l'utilisation du X-Guide®. Il s'agit d'un chirurgien-dentiste spécialisé en implantologie.

- Réalise une expérimentation sur une arcade en guidage statique,
- Réalise une expérimentation sur une arcade en guidage dynamique.

4) Création des groupes

Il y a 2 groupes. Le groupe 1 est destiné à l'endodontie guidée dynamique. Le groupe 2 est destiné à l'endodontie guidée statique.

Chaque arcade de 14 dents a été divisée en 2 afin que chaque expérimentateur puisse réaliser les forages sur 7 dents.

Groupe 1 (dynamique)

- Arcade n°1 composée des 7 dents destinées à l'expérimentation en navigation dynamique par l'expérimentateur A (non formé à l'utilisation du X-Guide®). Arbitrairement il a été choisi que l'expérimentateur A opèrerait sur le secteur 3 dentaire.
- Même arcade n°1 composée des 7 dents (secteur) 4 destinées à l'expérimentation en navigation dynamique par l'expérimentateur B (formé à l'utilisation du X-Guide®). Arbitrairement il a été choisi que l'expérimentateur A opèrerait sur le secteur 4 dentaire.

Groupe 2 (statique)

- Arcade n°2 composée de 7 dents (secteur 3) destinées à l'expérimentation en navigation statique par l'expérimentateur A (habitué à la manipulation des guides statiques).
- Arcade n°2 composée de 7 dents (secteur 4) destinées à l'expérimentation en navigation statique par l'expérimentateur B (habitué à la manipulation des guides statiques en implantologie mais pas en endodontie).

5) La radiographie pré opératoire

Le cone beam se réalise pour chaque arcade de 14 dents. Pour cela, les arcades sont positionnées au centre du support de mâchoire (embout carré et plat spécifique non destiné à l'appui du menton).



Figure 13 : positionnement de l'arcade dentaire lors du CBCT

Chaque arcade est irradiée par le Cone Beam CS 9600 (Carestream Dental), petit champ 10x5mm (60kV, 2mA, 20s). Cela permet de visualiser chacun des canaux.

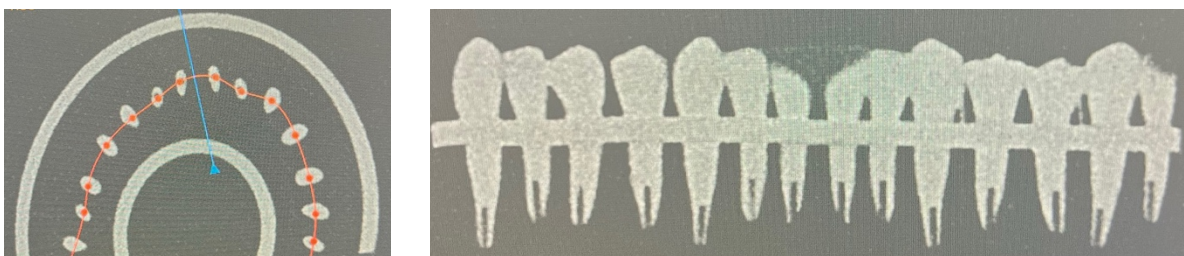


Figure 14 : images issues du CBCT pré opératoire

6) Planification

La planification a pour but de définir l'axe de la cavité d'accès, la longueur de forage et le point primaire de trépanation. La planification est réalisée avec le logiciel X-Nav™.

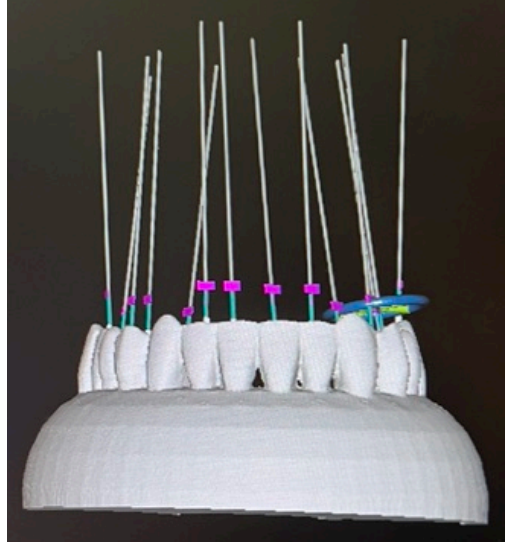


Figure 15 : planification avec le X-Nav™ permettant la visualisation des axes de forages

7) La radiographie post-opératoire

Une radiographie tridimensionnelle post-opératoire est réalisée afin d'évaluer et mesurer la déviation du forage canalaire.

Elle est réalisée selon les mêmes principes et avec les mêmes éléments que celle pré-opératoire.



Figure 16 : image issue du CBCT post-opératoire

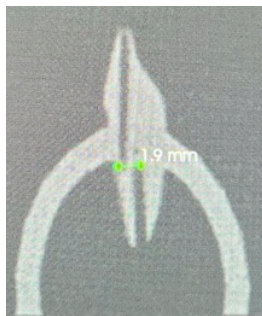


Figure 17 : mesure en mm de la déviation de l'axe de forage sur la 33

III – Protocole étape par étape

1) Protocole pour l'endodontie naviguée

Le protocole de forage se déroule comme suit :

- Repérage du point initial de la cavité guidé selon la planification réalisée,
- Forage jusqu'à la longueur dans cavité amélaire avec une fraise boule diamantée montée sur un contre angle chirurgical,
- Mise en forme endodontique à l'aide d'un foret pilote Dentoclic de diamètre 0,75 en suivant les instructions d'axe et de profondeur données par la cible du système X-Guide®,
- Recherche de succès de la procédure : obtention de la perméabilité apicale avec une lime K-15,
- CBCT final afin de comparer la position de forage à la position du canal c'est-à-dire visualiser la déviation canalaire notamment lorsque la perméabilité apicale n'est pas obtenue,
- Analyse des résultats

2) Protocole pour l'endodontie guidée

Le protocole de forage se déroule comme suit :

- Mise en place du guide sur l'arcade,
- Forage et mise en forme endodontique à l'aide d'un foret pilote Dentoclic de diamètre 0,75 monté sur un contre angle,
- Recherche de succès de la procédure : obtention de la perméabilité apicale avec une lime K-15,
- CBCT final afin de comparer la position de forage à la position du canal c'est-à-dire visualiser la déviation canalaire notamment lorsque la perméabilité apicale n'est pas obtenue,
- Analyse des résultats

IV – Résultats

On considèrera que l'expérimentation est un succès lorsque le forage est dans l'axe et que l'on obtient la perméabilité ou s'il manque environ un demi millimètre pour l'obtenir et que cela nécessite de forcer avec une lime K15. En effet la résine est un matériau très rigide.

1) Résultats de l'expérimentation en endodontie guidée

Le temps moyen de conception concernant la réalisation du guide endodontique d'une seule dent est de 20 minutes. La conception du guide de 14 dents a nécessité environ 1h30. Le temps moyen d'impression de ce dernier est de 45 minutes.

Les résultats obtenus lors de l'expérimentation réalisée par l'expérimentateur A sont synthétisés dans les tableaux suivants.

L'opérateur A a réalisé 2 expérimentations à 1 mois d'intervalle.

L'opérateur B a réalisé ses expérimentations en même temps que les secondes expérimentations de l'opérateur A.

Numéro de dent	Succès	Observations	Temps en seconde	Déviations canalaire au CBCT en mm
37	Non	Déviations dans le premier tiers canalaire	19'22	1,8
36	Oui		12'40	
35	Oui		14'95	
34	Oui		13'60	
33	Non	Déviations dans le premier tiers canalaire + pas de perméabilité	22'38	1,9
32	Oui		10'67	
31	Oui		11'08	

Résultats de l'expérimentation par l'opérateur A à J0

Numéro de dent	Succès	Observations	Temps en seconde	Déviations canalaires au CBCT en mm
37	Non	Déviations dans le premier tiers canalaires	13'38	1,9
36	Oui		11'66	
35	Oui	Perméabilité en forçant avec K15	13'30	
34	Oui		10'65	
33	Non	Déviations dans le premier tiers canalaires	11'69	1,0
32	Oui	Douille perdue au retrait	11'80	
31	Oui		11'60	

Résultats de l'expérimentation par l'opérateur A à J+1mois.

Pour la première expérimentation on peut en conclure que :

- Le pourcentage de succès est de 71,4%.
- Lors des échecs, les déviations canalaires ont lieu dans 100% des cas dans le premier tiers canalaires. Le délambrement coronaire est faible.
- Le temps moyen d'exécution est de 14'90s par dent.
- La déviations canalaires moyenne est de 1,85mm.

Pour la seconde expérimentation à J+1mois on peut en conclure que :

- Le pourcentage de succès est de 71,4%.
- Lors des échecs, les déviations canalaires ont lieu dans 100% des cas dans le premier tiers canalaires. Le délambrement coronaire est faible, identique à l'expérience à J0.
- Le temps moyen d'exécution est de 12'01s par dent.
- La déviations canalaires moyenne est de 1,45mm.

Enfin, en comparaison des deux expérimentations on note que :

- Le pourcentage de succès est inchangé. Les échecs sont toujours sur 37 et 33.
- Le délambrement coronaire est faible et les déviations canalaires ont toujours lieu dans le premier tiers canalaires.
- Le temps moyen d'exécution est amélioré de 2'89s par dent.
- La déviations canalaires moyenne est réduite de 0,45mm, ce qui n'est pas significatif. En effet, c'est moins que le diamètre du foret endodontique utilisé.

Les résultats obtenus lors de l'expérimentation réalisée par l'expérimentateur B sont synthétisés dans le tableau suivant.

Numéro de dent	Succès	Observations	Temps en seconde	Déviations canalaires au CBCT en mm
47	Non	Pas de perméabilité + déviation dès le premier tiers canalaires	10'63	1,1
46	Oui		7'64	
45	Oui		8'41	
44	Oui		10'23	
43	Non	Pas de perméabilité	8'11	
42	Oui		8'59	
41	Oui		10'78	

Résultats de l'expérimentation par l'opérateur B

On peut en conclure que :

- Le pourcentage de succès est également de 71,4%.
- Lors des échecs, les déviations canalaires ont lieu dans 100% des cas dans le premier tiers canalaires (ou bien la perméabilité n'est pas obtenue).
- Le temps moyen d'exécution est de 9'19s par dent.
- La déviation canalaires moyenne est de 1,1mm.

Grâce à ces tableaux comparatifs on arrive aux conclusions suivantes :

- Être un praticien spécialisé ou non en endodontie n'impacte pas le taux de succès.
- Être un praticien spécialisé ou non en endodontie n'impacte pas significativement le temps d'exécution (2'82 secondes de delta). Pour autant, l'entraînement à l'utilisation d'un guide semble améliorer la performance.
- Être un praticien spécialisé ou non en endodontie n'impacte pas significativement l'axe de déviation canalaires et cette dernière a toujours lieu dans le premier tiers canalaires.
- Le temps nécessaire à la conception puis impression pour être prêt à réaliser l'acte endodontique en endodontie guidée est en moyenne de 2h15 (1h30 + 45 minutes).

2) Résultats de l'expérimentation en endodontie naviguée

Le temps moyen de planification des axes de forage pour une dent est de 20 minutes. La planification des axes de forage des 14 dents a nécessité environ 1h45.

Le temps moyen de calibration avant de réaliser l'endodontie naviguée est de 5 minutes.

Chacun des opérateurs a réalisé dans un premier temps ses 7 forages dans la cavité amélaire avec une fraise boule diamantée. Ils ont chacun été chronométrés :

- L'expérimentateur A a mis en moyenne 11 minutes et 11 secondes,
- L'expérimentateur B a mis en moyenne 9 minutes et 34 secondes.

On note que la différence d'exécution lors de la trépanation à la fraise boule n'est pas significative (delta de 1 minute et 37 secondes).

Dans les deux cas, il existe un délabrement coronaire significatif.

Les résultats obtenus lors de l'expérimentation réalisée par l'expérimentateur A sont synthétisés dans le tableau suivant :

Numéro de dent	Succès	Observations	Temps en secondes	Déviations canalaire au CBCT en mm
37	Oui		55'61	
36	Oui		47'00	
35	Non	Déviations dans le premier tiers canalaire	1min 42'19	0,9
34	Non	Déviations dans le premier tiers canalaire	52'22	1,8
33	Oui		49'89	
32	Non	Déviations à la moitié canalaire	2min 12'61	1,2
31	Non	Déviations à la moitié canalaire	30'07	1,3

Résultats de l'expérimentation par l'opérateur A

On peut en conclure que :

- Le pourcentage de succès est de 42,8%.
- Lors des échecs, les déviations canalaire ont lieu dans 50% des cas dans le premier tiers canalaire et dans 50% des cas à la moitié canalaire.
- Le temps moyen d'exécution est de 67'08s soit 1min et 7'08s par dent.
- La déviations canalaire moyenne est de 1,3mm.

Les résultats obtenus lors de l'expérimentation par l'expérimentateur B sont synthétisés dans le tableau suivant :

Numéro de dent	Succès	Observations	Temps en secondes	Déviations canalaires au CBCT en mm
47	Oui		37'44	
46	Non	Déviations à la moitié canalaires	33'52	1,1
45	Oui		24'25	
44	Oui		22'02	
43	Oui		23'99	
42	Non	Déviations à la moitié canalaires	26'65	1,2
41	Non	Déviations dans le premier tiers canalaires	25'25	1,8

Résultats de l'expérimentation par l'opérateur B

On peut en conclure que :

- Le pourcentage de succès est de 57,1%.
- Lors des échecs, les déviations canalaires ont lieu dans 33% des cas dans le premier tiers canalaires et dans 67% des cas à la moitié canalaires.
- Le temps moyen d'exécution est de 27'59s par dent.
- La déviation canalaires moyenne est de 1,37mm.

Grâce à ces tableaux comparatifs on arrive aux conclusions suivantes :

- Être un praticien spécialisé en implantologie impacte et favorise le taux de succès de 14,3%. L'habitude d'utilisation et la pratique récurrente avec le X-Guide® diminue les possibilités d'échec.
- Être un praticien spécialisé en implantologie impacte significativement le temps d'exécution (delta de 39'69s). Ce dernier est plus rapide.
- Être un praticien spécialisé en implantologie n'impacte pas l'axe de la déviation canalaires mais impacte significativement la prématurité de cette dernière : le praticien non expérimenté est davantage sujet à dévier dès le premier tiers canalaires.
- Le temps nécessaire à la planification puis à la calibration pour être prêt à réaliser l'acte endodontique en endodontie naviguée est en moyenne de 1h50.

3) Coûts d'une endodontie assistée

Concernant le coût de réalisation d'une endodontie avec le X-Guide®. Un X-Clip d'un coût de 80€ a été nécessaire à la réalisation des expérimentations. Le robot en lui-même ainsi que les licences qu'il nécessite ont été utilisés. Le prix d'achat d'un X-Guide® avec son matériel indispensable est d'environ 40 000€ TTC.

A l'inverse, concernant le coût de la réalisation d'une endodontie guidée, le guide lui-même a un coût de 20€. Une imprimante 3D a également été utilisée. Le prix d'achat de cette dernière est d'environ 500€ TTC.

En conclusion, hors coût de l'imprimante 3D et du X-Guide®, nous pouvons dire qu'une endodontie naviguée a un coût supérieur à celle d'une endodontie guidée.

Si on prend en compte ces deux derniers éléments, l'endodontie naviguée a toujours un coût bien supérieur à celle guidée. Le robot X-Guide® n'a pas vocation à être acquis par les praticiens pour l'endodontie mais plutôt à en détourner son usage initial lorsqu'un cabinet est déjà équipé de ce dernier.

V - Discussion

1) Discussion autour des matériels et méthodes

1.1) Biais liés au choix des dents

Ce travail a permis d'expérimenter une nouvelle approche en endodontie. Il a été choisi pour des raisons de faisabilité de traiter uniquement des dents monoradiculées. En effet, l'usage clinique d'un guide ou du X-Clip dans les secteurs postérieurs est souvent limité par l'ouverture buccale du patient. De plus, les incisives mandibulaires sont les dents les plus souvent concernées par la minéralisation.

1.2) Biais liés à la résine

Afin d'obtenir un modèle reproductible dans la minéralisation canalair, il a été choisi des modèles en résine. Il s'agit ici d'une procédure purement expérimentale non superposable à un geste clinique (où la minéralisation varie et est propre à chaque canal).

Le modèle d'arcade résine choisi a pour conséquence lors des passages du foret une tendance à l'échauffement de la résine que ce soit en endodontie guidée ou en endodontie naviguée et peut donc entraîner des déviations.

2) Discussion autour des résultats

2.1) Biais inter-opérateur

Il est intéressant de prendre en compte le niveau d'expérience de chacun des expérimentateurs, tant dans leur capacité et leur facilité à réaliser une planification, une calibration sur le logiciel X-Nav™ que dans leur capacité à utiliser le robot X-Guide® et ses différents éléments.

Bien que le X-Guide® soit un outil assez intuitif, une courbe d'apprentissage existe. Dans cette mesure, réaliser de nouvelles expériences à J+15jours puis à J+1mois est judicieux afin de mesurer la courbe d'évolution d'apprentissage du praticien novice en chirurgie guidée.

Grâce à ces nouvelles expériences, une évaluation plus fine des différences inter-opérateur pourra être réalisée.

2.2) Biais intra-opérateur

Il existe un biais intra-observateur puisque l'opérateur spécialisé en endodontie a réalisé 2 expérimentations en endodontie guidée tandis que l'opérateur implantologue n'en a réalisé qu'une seule.

Afin de confirmer les résultats mais également d'observer l'éventuelle progression et adaptation à la technique de chaque opérateur selon son niveau de départ (novice ou expérimenté), il est intéressant que chacun réitère son expérimentation à J+15jours puis à J+1mois.

2.3) Difficultés rencontrées en endodontie guidée

Lors de la réalisation des expérimentations en endodontie guidée, un foret endodontique de 0,75mm de diamètre a été utilisé.

Ce dernier a été choisi dans un souci d'économie tissulaire. Cependant, il est certes moins délabrant mais son faible diamètre lui incombe une flexibilité assez importante. Grâce au guide, le foret et l'expérimentateur sont bien guidés sur les 4mm de départ puisqu'il est maintenu sur

ces premiers millimètres grâce à la douille intégrée au guide. A l'inverse de l'endodontie naviguée où le foret n'est pas du tout guidé.

Ainsi, suite aux arguments apportés ci-dessus, il serait probablement intéressant d'utiliser un foret endodontique de 0,9mm de diamètre afin de réduire la flexibilité.

La conception d'un guide endodontique pour une arcade complète de 14 dents prend environ 1h30. Il s'agit d'une durée non négligeable. Néanmoins, la conception d'un guide endodontique pour une seule dent se fait en 20 minutes environ.

L'impression d'un guide endodontique de 14 dents prend en moyenne 45 minutes même si cette valeur est cependant susceptible de varier selon les modèles d'imprimantes 3D.

Compte tenu du gain de temps obtenu lors de la dévitalisation d'un canal minéralisé où la progression à main levée serait longue (15 minutes à 1 heure), cela est intéressant.

2.4) Difficultés rencontrées en endodontie naviguée

En ce qui concerne les expérimentations en endodontie naviguée, la première difficulté rencontrée est la complexité d'utilisation des logiciels. En effet, il est impératif d'être initié afin de savoir s'y prendre. De plus, la planification du guide endodontique a été faite sur le logiciel BlueSkyPlan. Ainsi, celle pour l'endodontie guidée a également été faite via ce logiciel avant d'être exportée sur X-Nav™, ce qui ajoute une complexité.

Par ailleurs, l'interface X-Nav™ nécessite une prise en main au préalable car n'est pas facile d'utilisation au premier abord malgré la volonté de Nobel de rendre l'interface intuitive.

Dans une étape précédente aux résultats des expérimentations présentés, une autre première expérience avait été réalisée et avait abouti à un échec. En effet, l'échec était dû à la mobilité du X-Clip. Ainsi il est important que ce dernier soit bien fixé afin de ne pas fausser la planification.

De plus, dans un axe beaucoup plus clinique, la mise en place du X-Clip en bouche est délicate car ce dernier est extrêmement rigide.

Toutes les dents ont été conçues avec le même canal. Pour autant on note que les dents qui ont une surface coronaire de type prémolaire avec une surface coronaire plus importante ont un meilleur taux de succès que les incisives. Ces dernières ayant un bord libre fin et étant souvent grêles. En effet, la trépanation amélaire à la fraise boule diamantée sur le bord libre

s'est révélée être complexe sur le bord libre des incisives (dérapage). Elle est utilisée pour faire les voies d'accès mais elle n'est pas pointue comme le serait un foret implantaire ou endodontique. De cette manière, la trépanation est légèrement moins précise. Ainsi, en endodontie naviguée, le bord libre grêle des incisives pose problème, entraînant souvent une sortie de l'axe de la planification.

On note cependant qu'en navigation guidée, le forage par le bord libre ne pose pas de problème puisque l'opérateur est guidé grâce à la douille insérée au guide ce qui maintient le foret dans son axe.

Lors de la réalisation des expérimentations, un foret endodontique de 0,75mm de diamètre a été utilisé. Ce dernier présente une flexibilité importante comme explicité précédemment. La flexibilité est totalement augmentée en endodontie naviguée puisqu'à l'inverse de l'endodontie guidée, ici le foret est totalement libre dès le départ, dès la cavité amélaire. De ce fait, l'utilisation de ce dernier est trop risquée par rapport au risque de déviation et explique les résultats moins bons de l'étude.

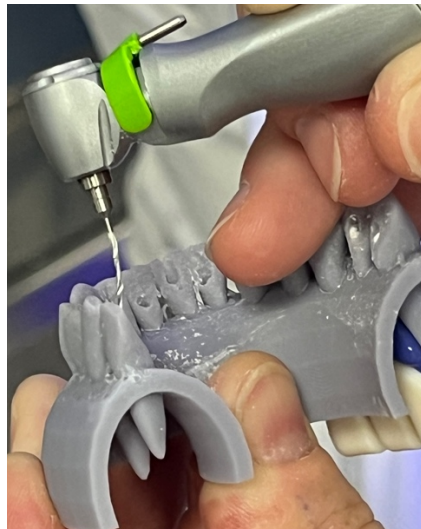


Figure 18 : photographie illustrant la flexibilité du foret endodontique 0,75mm

Toujours concernant le foret endodontique (0,75mm de diamètre), son faible diamètre en comparaison à un foret implantaire (2mm à 5,5mm de diamètre) a pour effet lors de la manipulation, sur l'écran X-Guide®, une variation dans l'axe beaucoup plus sensible. Cela ajoute une difficulté, notamment lorsque le manipulateur est novice dans l'utilisation du X-Guide®. Il faut ajouter à cela, la concentration que demande le fait de dissocier les mains de son regard. Travailler en naviguée nécessite un réel temps d'adaptation et de progression.

2.5) La planification

Il existe un biais dans la planification et l'exécution de cette dernière. En effet, elle a été réalisée d'emblée par un troisième expérimentateur qui n'a pas effectué les forages.

Une erreur de planification pourrait être à l'origine de certains échecs. Il serait intéressant dans un second temps de revenir sur la planification afin de vérifier la justesse de cette dernière. De plus, certaines des sorties apicales latérales pourraient également être liées à la planification.

3) Discussion autour des objectifs secondaires

3.1) Perte de substance lors de l'aménagement de la voie d'accès

En endodontie guidée

Au niveau coronaire le délabrement est extrêmement léger, les zones de forages sont très précises. Seule la 41 a subi un délabrement un peu plus important de son bord libre. Pour améliorer cela, une éventuelle légère modification de la conception du guide est judicieuse afin de planifier une zone de forage coronaire un peu plus cingulaire et moins occlusale.



Figure 19 : arcade dentaire après expérimentation en endodontie guidée

Au niveau radiculaire le délabrement est faible puisque seulement 4/14 soit 28,5% des dents (37, 33, 43 et 47) ont subi des déviations canalaires.

Les dents 33, 37 et 47 ont des déviations dans le premier tiers canalaire. La 47 n'a également pas de perméabilité tout comme la 43. Cela est probablement dû à une longueur de foret trop courte car le guide ajoute une épaisseur de résine. Or la longueur du foret n'est pas extensible. On note que les dents sur lesquelles on obtient un échec sont des controlatérales ce qui pose la question d'un biais de planification.

Le degré de déviation est en moyenne de 1,2mm ce qui reste léger et donc laisse la possibilité au manipulateur de rattraper le bon axe canalaire. Il s'agit dans ce cas probablement d'un défaut de planification également.

En endodontie naviguée

Au niveau coronaire, le délabrement coronaire est assez important du fait de l'utilisation de la fraise boule et de la difficulté à la positionner sur les zones grêles tels que les bords libres des incisives. La difficulté est d'autant plus augmentée que les opérateurs tiennent dans une de leur main la pièce à main avec la fraise boule et dans l'autre le modèle. Fixer le modèle et n'avoir qu'une seule main opératrice, qui peut être stabilisée par l'arcade alvéolaire et/ou la joue, rendrait éventuellement le délabrement coronaire moins important.



Figure 20 : arcade dentaire après expérimentation en endodontie naviguée

Au niveau radiculaire, le délabrement concerne 7/14 soit 50% des dents (35, 34, 32, 31, 41, 42 et 46). Les déviations ont eu lieu en moyenne dans 43% au premier tiers et dans 57% des cas à la moitié canalaire. C'est la flexibilité du foret qui explique ces déviations précoces et importantes. L'utilisation d'un foret de 0,9mm devrait être plus adaptée puisque sa flexibilité est moins importante.

Le degré de déviation est en moyenne de 1,4mm ce qui est supérieur par rapport à l'endodontie guidée. Ce degré de déviation pourrait être diminué avec l'utilisation d'un foret plus rigide, de 0,9mm par exemple.

3.2) Temps d'exécution

Concernant le temps d'exécution, ce dernier a toujours été chronométré par un individu ne réalisant pas les manipulations. Cependant cet individu extérieur n'a pas toujours été le

même. Ainsi le temps de réactivité est différent selon les individus et selon son état de fatigue. Afin d'harmoniser les résultats, l'individu chronométrant doit être le même et il est idéal que les expérimentations soient réalisées le même jour pour que son état de concentration varie le moins possible.

Le temps d'exécution total moyen d'une endodontie naviguée (forage amélaire et canalaire) est de 2 minutes et 20 secondes. Ceci reste extrêmement rapide pour un geste clinique qui est d'autant plus complexe.

4) Améliorations de protocole proposées

Le protocole endodontique pourrait être affiné afin de se rapprocher de celui réalisé cliniquement. Il serait appréciable de réaliser une irrigation à l'alcool entre chaque passage de forêt. En situation clinique, l'irrigation est réalisée avec de l'hypochlorite. Cependant, dans le cadre des expérimentations, la résine étant issue d'une impression 3D, l'alcool aurait un effet lubrificateur et faciliterait la progression des forêts.

L'hypochlorite ayant un rôle désinfectant majoritairement, la résine, n'étant pas exposée à une contamination bactérienne, l'alcool paraît donc être un irrigant plus pertinent.

Afin d'éviter les erreurs de planifications il faut, à l'aide d'une dent correspondant aux critères d'inclusion que chaque opérateur s'entraîne à la lecture/interprétation du CBCT et à l'utilisation du logiciel de planification X-Nav™ en réalisant plusieurs planifications. A l'issue du premier entraînement, les planifications de tous les opérateurs sont comparées afin que chacun des opérateurs soit formé. Puis, chaque opérateur s'entraîne à la réalisation d'un forage endodontique. A l'issue de ces entraînements, une comparaison des novices versus expérimentés est nécessaire afin de déterminer combien de planifications sont identiques ou différentes. Ainsi ce calibrage inter-individuel permet de calculer un score de calibrage.

CONCLUSION

L'endodontie guidée apporte un succès dans 71% des cas et cela peut être pris en compte dans la prise en charge clinique.

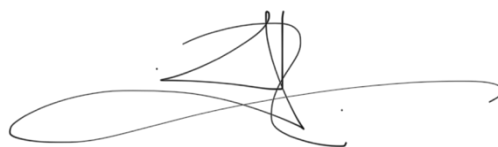
Dans le cas de l'endodontie naviguée le canal a été trouvé dans 43% des cas pour l'expérimentateur novice et 57% des cas pour l'expérimentateur spécialisé en implantologie. De nouvelles expérimentations sont nécessaires afin d'affiner cette étude et obtenir une transposition clinique (notamment un travail sur dents naturelles).

Par conséquent, notre hypothèse de départ s'avère ne pas être correcte. Dans les conditions expérimentales choisies, l'endodontie guidée est supérieure à la naviguée. Cependant d'autres études prenant en compte les biais doivent être menées afin de compléter ces résultats. Cette expérimentation a montré ses limites et la poursuite des investigations est nécessaire.

Vu, le 09/10/2023, Directeur de thèse



Vu, le 14/10/2023, Président du jury



INDEX DES FIGURES

Figure 1 : Schéma d'une section verticale de 41 en vue vestibulaire, sections radiculaires (cervicale, médiane et apicale), section sagittale de la même 41 et section sagittale d'une 42 avec ses sections radiculaires (cervicale, médiane et apicale).

Source : Arcade dentaire humaine, morphologie ; Maurice CRETOT, 2013

Figure 2 : Sur la gauche, segmentation d'une incisive centrale (41) sur un individu de 77 ans en vue vestibulaire et en vue mésiale. Sur la droite, segmentation d'une incisive centrale (41) sur un individu de 27 ans en vue vestibulaire et en vue mésiale

Figure 3 : Sur la gauche, segmentation d'une incisive latérale (42) sur un individu de 77 ans en vue vestibulaire et en vue mésiale. Sur la droite, segmentation d'une incisive centrale (42) sur un individu de 27 ans en vue vestibulaire et en vue mésiale.

Figure 4 : Configuration canalaire selon la classification de Vertucci

Figure 5 : X-Guide® (Source : www.x-navtech.com OU NobelBiocare™)

Figure 6 : Photographie de l'écran au cours de la chirurgie

Figure 7 : A gauche, contre angle chirurgical avec le tracker (source : www.lefildentaire.com). A droite, X-Clip avec le tracker patient (source : www.store.nobelbiocare.com)

Figure 8 : X-Clip (source : www.store.nobelbiocare.com)

Figure 9 : Sonde X-Mark sans son tracker (source www.store.nobelbiocare.com)

Figure 10 : Go-Plate (Source : www.store.nobelbiocare.com)

Figure 11 : Image 3D des arcades dentaires numériques avec visualisation des canaux en apical

Figure 12 : Arcade en résine photopolymère lavable à l'eau ELEGOO

Figure 13 : Photographie du positionnement de l'arcade dentaire en résine lors de la réalisation du CBCT

Figure 14 : Images issues du CBCT pré-opératoire

Figure 15 : Photographie issues de la planification avec le X-Nav™ permettant la visualisation des axes de forages

Figure 16 : Images issues du CBCT post-opératoire

Figure 17 : Image 3D avec mesure en mm de la déviation de l'axe de forage sur la dent 33

Figure 18 : Photographie illustrant la flexibilité du foret endodontique Dentoclic 0,75mm de diamètre

Figure 19 : Photographie de l'arcade dentaire après expérimentation en endodontie guidée

Figure 20 : Photographie de l'arcade dentaire après expérimentation en endodontie naviguée

BIBLIOGRAPHIE

1. Ramarosan J. Calcification intracanaulaire médiane Apport thérapeutique du CMA. 3:8.
2. La manifestation clinique d'oblitération. canalaire. Oblitération. cas particuliers des dents traumatisées. endodontie - PDF Téléchargement Gratuit [Internet]. [cité 1 nov 2022]. Disponible sur: <https://docplayer.fr/amp/8573303-La-manifestation-clinique-d-obliteration-canaulaire-obliteration-cas-particuliers-des-dents-traumatisees-endodontie.html>
3. Piette E, Goldberg M. La dent normale et pathologique. De Boeck Supérieur. 2001.
4. Bernick S, Nedelman C. Effect of aging on the human pulp. Journal of Endodontics. mars 1975;1(3):88-94.
5. LECOMPTE V. Les minéralisations pulpaire : étiologies, manifestations et traitements. 2015.
6. CHAZEL JC, ESBER S, KOUASSI M, PELISSIER B. Encyclopédie médico-chirurgicale. Odontologie. In 2006.
7. Bastos JV, Côrtes MI de S. Pulp canal obliteration after traumatic injuries in permanent teeth – scientific fact or fiction? Braz oral res [Internet]. 18 oct 2018 [cité 8 nov 2022];32(suppl 1). Disponible sur: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-83242018000500610&lng=en&tlng=en
8. Andreasen FM, Zhjie Y, Thomsen BL, Andersen PK. Occurrence of pulp canal obliteration after luxation injuries in the permanent dentition. Dent Traumatol. juin 1987;3(3):103-15.
9. HELOU V. Traitement endodontique d'une incisive centrale maxillaire au canal calcifié : aide d'un guide de forage planifié et imprimé par CFAO. 2020.
10. Cvek M, Granath L, Lundberg M. Failures and healing in endodontically treated non-vital anterior teeth with posttraumatically reduced pulpal lumen. Acta Odontologica Scandinavica. janv 1982;40(4):223-8.
11. Kvinnsland I, Oswald RJ, Halse A, Grønningsæter AG. A clinical and roentgenological study of 55 cases of root perforation. Int Endod J. mars 1989;22(2):75-84.
12. LAVERGNE J. Dimensions mésio-distales et vestibulo-linguales des dents humaines permanentes. In: Bulletins et Mémoires de la société d'Anthropologie de Paris. 1974.
13. Anatomie endodontique (S5).
14. CRETOT M. L'arcade dentaire humaine - Morphologie. 2013.

15. BOUDEN N. anatomie endodontique. 2021.
16. Benjamin KA, Dowson J. Incidence of two root canals in human mandibular incisor teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. juill 1974;38(1):122-6.
17. About X-Guide [Internet]. X-Nav Technologies. [cité 1 déc 2022]. Disponible sur: <https://x-navtech.com/about-x-guide/>
18. Emery RW, Merritt SA, Lank K, Gibbs JD. Accuracy of Dynamic Navigation for Dental Implant Placement-Model-Based Evaluation. *J Oral Implantol*. oct 2016;42(5):399-405.
19. Mediavilla Guzmán A, Riad Deglow E, Zubizarreta-Macho Á, Agustín-Panadero R, Hernández Montero S. Accuracy of Computer-Aided Dynamic Navigation Compared to Computer-Aided Static Navigation for Dental Implant Placement: An In Vitro Study. *J Clin Med*. 2 déc 2019;8(12):E2123.
20. Block MS, Emery RW, Cullum DR, Sheikh A. Implant Placement Is More Accurate Using Dynamic Navigation. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. juill 2017;75(7):1377-86.
21. Le courrier du dentiste [Internet]. [cité 13 nov 2022]. Technologies et limites des systèmes de navigation dynamique en implantologie | Dossiers du mois. Disponible sur: <https://www.lecourrierdudentiste.com/dossiers-du-mois/technologies-et-limites-des-systemes-de-navigation-dynamique-en-implantologie.html>
22. Giannattasio B. Planification et chirurgie implantaire. Apport du système X-guide®. 2021;77.
23. Esposito M, Grusovin MG, Worthington HV. Interventions for replacing missing teeth: antibiotics at dental implant placement to prevent complications. Cochrane Oral Health Group, éditeur. *Cochrane Database of Systematic Reviews* [Internet]. 31 juill 2013 [cité 13 nov 2022]; Disponible sur: <https://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD004152.pub4>
24. CANE C. Prescription des antibiotiques en implantologie : enquête auprès des praticiens implan- tologistes de Haute-Vienne. Dumas-01671448; 2017.
25. LOUIS M. Gestion et utilisation des anti-inflammatoires en odontologie [Internet]. 2010. Disponible sur: hal-01738946
26. Gargallo-Albiol J, Barootchi S, Salomó-Coll O, Wang H lay. Advantages and disadvantages of implant navigation surgery. A systematic review. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*. sept 2019;225:1-10.
27. Block MS, Emery RW. Static or Dynamic Navigation for Implant Placement—Choosing the Method of Guidance. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. févr 2016;74(2):269-77.

28. Casap N, Nadel S, Tarazi E, Weiss EI. Evaluation of a Navigation System for Dental Implantation as a Tool to Train Novice Dental Practitioners. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. oct 2011;69(10):2548-56.
29. Zubizarreta-Macho Á, Muñoz A de P, Deglow ER, Agustín-Panadero R, Álvarez JM. Accuracy of Computer-Aided Dynamic Navigation Compared to Computer-Aided Static Procedure for Endodontic Access Cavities: An in Vitro Study. *J Clin Med*. 2 janv 2020;9(1):E129.
30. Dianat O, Nosrat A, Tordik PA, Aldahmash SA, Romberg E, Price JB, et al. Accuracy and Efficiency of a Dynamic Navigation System for Locating Calcified Canals. *J Endod*. nov 2020;46(11):1719-25.
31. résine photopolymère lavable à l'eau ELEGOO. Disponible sur: <https://elegoofrance.fr/products/elegoo-resine-resin-water-washable-blanc-white-1-kg-livraison-rapide>

CANAUx MINÉRALISÉS : ÉTUDE COMPARATIVE ENTRE L'ENDODONTIE GUIDÉE VERSUS NAVIGUÉE

RÉSUMÉ EN FRANÇAIS

Lors des traitements endodontiques, les minéralisations canalaires posent de réelles difficultés aux chirurgiens-dentistes : déviation de l'axe de forage jusqu'à la perforation ou impossibilité de progresser. Dans le but d'améliorer le succès clinique, nous avons voulu comparer l'efficacité des guides endodontiques versus l'endodontie naviguée. Dans les conditions expérimentales choisies, l'endodontie guidée est supérieure à la naviguée. Cependant d'autres études prenant en compte les biais doivent être menées afin de compléter ces résultats. Cette expérimentation a montré ses limites et la poursuite des investigations est nécessaire.

TITRE EN ANGLAIS : MINERALIZED CANALS: COMPARATIVE STUDY BETWEEN GUIDED VERSUS NAVIGATED ENDODONTICS**RÉSUMÉ EN ANGLAIS**

During endodontic treatments, root canal mineralization poses real difficulties for dentists: deviation of the drilling axis until perforation or impossibility of progress. In order to improve clinical success, we wanted to compare the effectiveness of endodontic guides versus navigated endodontics. Under the chosen experimental conditions, guided endodontics is superior to navigated endodontics. However, other studies taking into account bias must be carried out in order to complete these results. This experiment has shown its limits and continued investigations are necessary.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire

MOTS-CLES : endodontie naviguée, X-Guide®, endodontie guidée, minéralisation canalair

INTITULÉ 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 : Docteur GURGEL-GEORGELIN Marie