

UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2018

Thèse n° 2018-TOU3-3078

THESE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par

Roch VEYSSEYRE

Le 14 décembre 2018

**MICROENDODONTIE GUIDÉE : ÉTUDE DE FAISABILITÉ
MONTRANT L'ÉCONOMIE TISSULAIRE POTENTIELLE SUR
LES CAVITÉS D'ACCÈS DES INCISIVES CALCIFIÉES**

Directeur de thèse : Dr. Loïc MOURLAN

Codirecteur de thèse : Dr. Antoine GALIBOURG

JURY

Président :

1^{er} assesseur :

2^{ème} assesseur :

3^{ème} assesseur :

4^{ème} assesseur :

Professeur Franck DIEMER

Professeur Serge ARMAND

Docteur Marie GURGEL-GEORGELIN

Docteur Loïc MOURLAN

Docteur Antoine GALIBOURG



**UNIVERSITÉ
TOULOUSE III
PAUL SABATIER**



Faculté de Chirurgie Dentaire

➔ DIRECTION

DOYEN

Mr Philippe POMAR

ASSESEUR DU DOYEN

Mme Sabine JONIOT

CHARGÉS DE MISSION

Mr Karim NASR

Mr HAMEL Olivier

Mr Franck DIEMER

PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme Cathy NABET

RESPONSABLE ADMINISTRATIF

Mme Muriel VERDAGUER

➔ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES

Mr Jean LAGARRIGUE

Mr Jean-Philippe LODTER

Mr Gérard PALOUDIER

Mr Michel SIXOU

Mr Henri SOULET

➔ ÉMÉRITAT

Mr Damien DURAN

Mme Geneviève GRÉGOIRE

Mr Gérard PALOUDIER

➔ PERSONNEL ENSEIGNANT

Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

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

ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

Professeurs d'Université : Mme BAILLEUL-FORESTIER, Mr. VAYSSE

Maîtres de Conférences : Mme NOIRRI-ESCLASSAN, Mme VALERA, Mr. MARTY

Assistants : Mme BROUTIN, Mme GUY-VERGER

Adjoint d'Enseignement : Mr. DOMINE, Mme BROUTIN,

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : Mr BARON, Mme LODTER, Mme MARCHAL, Mr. ROTENBERG,

Assistants : Mme YAN-VERGNES, Mme ARAGON

Adjoint d'Enseignement : Mme DIVOL,

56.02 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE (Mr. HAMEL)

Professeurs d'Université : Mr. SIXOU, Mme NABET, Mr. HAMEL

Maître de Conférences : Mr. VERGNES,

Assistant : Mr. ROSENZWEIG,

Adjoints d'Enseignement : Mr. DURAND, Mlle. BARON, Mr LAGARD

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE (Mr. COURTOIS)

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences : Mr. BARTHET, Mme DALICIEUX-LAURENCIN, Mme VINEL
Assistants : Mr. RIMBERT, Mme. THOMAS
Adjoints d'Enseignement : Mr. CALVO, Mr. LAFFORGUE, Mr. SANCIER, Mr. BARRE, Mme KADDECH

CHIRURGIE ORALE

Maîtres de Conférences : Mr. CAMPAN, Mr. COURTOIS, Mme COUSTY,
Assistants : Mme COSTA-MENDES, Mr. BENAT,
Adjoints d'Enseignement : Mr. FAUXPOINT, Mr. L'HOMME, Mme LABADIE, Mr. RAYNALDI,

BIOLOGIE ORALE

Professeur d'Université : Mr. KEMOUN
Maîtres de Conférences : Mr. POULET, Mr BLASCO-BAQUE
Assistants : Mr. LEMAITRE, Mr. TRIGALOU, Mme. TIMOFEEVA, Mr. MINTY
Adjoints d'Enseignement : Mr. PUISSOCHET, Mr. FRANC, Mr BARRAGUE

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale

58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX (Mr ARMAND)

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

Professeur d'Université : Mr. DIEMER
Maîtres de Conférences : Mr. GUIGNES, Mme GURGEL-GEORGELIN, Mme MARET-COMTESSE
Assistants : Mr. GAILLAC, Mme. RAPP, Mr. MOURLAN, Mme PECQUEUR, Mr. DUCASSE, Mr FISSE
Adjoints d'Enseignement : Mr. BALGUERIE, Mr. MALLET, Mme FOURNIER

PROTHÈSES

Professeurs d'Université : Mr. ARMAND, Mr. POMAR
Maîtres de Conférences : Mr. CHAMPION, Mr. ESCLASSAN, Mme VIGARIOS, Mr. DESTRUHAUT
Assistants : Mr. EMONET-DENAND, Mr. LEMAGNER, Mr. HENNEQUIN, Mr. CHAMPION, Mme. DE BATAILLE
Adjoints d'Enseignement : Mr. BOGHANIM, Mr. FLORENTIN, Mr. FOLCH, Mr. GALIBOURG, Mr. GHRENASSIA, Mme. LACOSTE-FERRE, Mr. POGEANT, Mr. GINESTE, Mr. LE GAC, Mr. GAYRARD, Mr. COMBADAZOU, Mr. ARCAUTE,

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Maîtres de Conférences : Mme JONIOT, Mr. NASR, Mr. MONSARRAT
Assistants : Mr. CANCEILL, Mr. OSTROWSKI, Mr. DELRIEU
Adjoints d'Enseignement : Mr. AHMED, Mme MAGNE, Mr. VERGÉ, Mme BOUSQUET

Mise à jour pour le 05 novembre 2018

REMERCIEMENTS

Je tiens à dédier ma thèse à tous les miens. À ceux qui n'ont jamais cessé de croire en moi et en mes rêves. À tous ceux qui m'ont accompagné.

À Marc qui a toujours su m'écouter patiemment malgré son jeune âge et toutes nos différences.

À mes Parents qui m'ont porté jusqu'ici en me laissant le choix de vivre pleinement mes passions.

À mes Grands-parents qui eux aussi ont su m'épauler et me transmettre leurs savoirs. Aux passions et loisirs qui comblent ma vie et qui me viennent de vous.

À Olivier et Anne-Marie qui m'ont transmis l'envie de soigner et qui m'ont accompagné tout au long de mes études jusqu'à ce jour si important.

À François, à nos expéditions en montagne, à tous nos sommets gravis et particulièrement à ce Mont Blanc et aux rencontres incroyables que nous avons fait là-bas. Qui aurait pu imaginer ça !

À Philippe, à nos passions communes. C'est maintenant à ton tour de soutenir ta thèse et d'obtenir la médaille.

À Sixtine et Fabrice, à tous ces bons moments passés sur les pistes la tête dans la neige.

A Quentin qui m'a finalement dépassé sur la dernière ligne droite. Nous fêterons dignement nos thèses au cours d'un beau road trip à moto !

A Ludovic qui m'a accompagné et fait découvrir la Guyane comme personne d'autre n'aurait pu le faire.

A Gilles et à Cacao, à cette rencontre d'une rare richesse. Notre prochaine rencontre sera à Krungthep. เห็นคุณเร็ววันนี้เพื่อนของฉัน

À tous mes amis et camarades de promo que je n'ai pas nommé et qui sont là pour me soutenir.

À mes confrères Isabelle et Luc ainsi qu'à Galyna et Karin, je vous remercie de m'avoir accueilli au sein de votre cabinet et de m'avoir accompagné tout au long de mon remplacement.

A mes confrères du Guyane : Michèle, Claire, Jean-Marc, Éric, Kévin, ainsi qu'à Révana, Marceline, Silvana, Jennifer, Chantal et Jocelyne ... *Tchimbé raid pa moli !*

... Et au Congo !

Je vous remercie tous de me faire l'honneur d'être présent ce soir pour cet événement si particulier.

À notre Président du jury,

Monsieur le Professeur Franck DIEMER

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier en Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- D.E.A. de Pédagogie (Éducation, Formation et Insertion) Toulouse Le Mirail
- Docteur de l'Université Paul Sabatier
- Responsable du Diplôme Inter-Universitaire d'Endodontie à Toulouse
- Responsable du Diplôme universitaire d'hypnose
- Co-responsable du diplôme Inter-Universitaire d'odontologie du sport
- Vice-Président de la Société Française d'Endodontie
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Vous nous faites l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.
Nous vous remercions de votre disponibilité, de l'aide et de l'intérêt que vous portez à ce
travail.

Nous nous souviendrons de la pédagogie avec laquelle vous avez su nous transmettre
votre savoir. Votre intérêt et la qualité de vos enseignements nous ont grandement fait
apprécier l'endodontie.

Vous trouverez dans cet ouvrage le témoignage de notre profond respect et de notre
sincère gratitude.

À notre jury,

Monsieur le Professeur Serge ARMAND

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Docteur en Sciences Odontologiques
- Docteur d'État en Odontologie
- Responsable du Diplôme d'Université d'Implantologie
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Nous vous remercions chaleureusement d'avoir accepté de siéger dans ce jury et de
l'intérêt que vous avez porté à nos travaux.

Le temps passé au bloc avec vous a été d'un grand enrichissement pour moi.

Vous trouverez à travers cet ouvrage le témoignage de mon plus profond respect et de
toute ma reconnaissance.

À notre jury,

Madame le Docteur Marie GURGEL-GEORGELIN

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier en 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

C'est un grand plaisir de vous compter parmi les membres de notre jury.
Nous tenons à vous témoigner notre gratitude pour la qualité et le dynamisme de votre
enseignement.
Nous vous remercions sincèrement pour l'aide que vous nous avez apportée durant nos
études.

Vous trouverez par ces quelques mots l'expression de notre profond respect.

A notre directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Loïc MOURLAN

- Assistant Hospitalo-Universitaire en Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- C.E.S. Prothèse, option : Prothèse fixée,
- D.E.S.U. d'Endodontie de la Faculté d'Aix Marseille.

Nous vous sommes très reconnaissant d'avoir accepté de diriger cette thèse.
Nous vous remercions grandement pour votre disponibilité, votre investissement et la pertinence de vos conseils dans une période où votre temps était particulièrement précieux.

Nous vous prions de trouver ici l'expression de toute notre estime, notre sympathie et nos remerciements.

A notre codirecteur de thèse :

Monsieur le Docteur Antoine GALIBOURG

- Adjoint d'Enseignement à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse
- Ancien Assistant hospitalo-universitaire d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Master 1 : Biosanté
- Ingénieur de l'Institut Catholique de Arts et Métiers
- Diplôme d'Université d'Imagerie 3D

Nous vous sommes reconnaissant d'avoir accepté de codiriger ce travail.
Nous vous remercions grandement pour vos conseils et pour les encouragements que
vous savez apporter lors des moments de doute.
C'est pour nous un privilège d'avoir contribué à travailler avec vous sur ce sujet
particulièrement intéressant.

Nous vous prions de trouver toute notre gratitude et notre plus profond respect.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	13
I. MATÉRIELS ET MÉTHODES	14
1. MISE EN ŒUVRE.....	14
2. SIMULATEURS.....	15
3. CRITERES D'ELIGIBILITE DES DENTS	19
4. PLANIFICATION	21
5. PROTOCOLE.....	26
6. ÉCHECS ET ERREURS DE MANIPULATION POTENTIELS A CONSIGNER	28
7. ANALYSES	30
II. RÉSULTATS	37
III. DISCUSSION	47
1. INTERPRETATION.....	47
a. <i>Interprétation des résultats des dents #2, #3, #4.....</i>	47
b. <i>Échec de la dent #1 (11).....</i>	50
c. <i>Relocalisation de l'entrée canalaire sur la dent #1 (11)</i>	52
2. LIMITES	54
3. SUITES	59
CONCLUSION	61
BIBLIOGRAPHIE	63

INTRODUCTION

Les calcifications pulpaire peuvent être le résultat d'un vieillissement physiologique de la dent (1), comme d'une séquelle faisant suite à des traumatismes dentaires, des chirurgies (autotransplantations), des lésions carieuses, des habitudes nocives ou des traitements iatrogènes (déplacement orthodontique excessif, contention dentaire iatrogène, coiffage pulpaire direct, etc.) (2,3,4,5,6).

Le traitement canalaire n'est indiqué qu'en cas d'atteinte pulpaire irréversible ou lors de nécrose pulpaire (4,7,8,9,10,11,12). Les calcifications pulpaire à elles seules ne sont pas un motif de traitement endodontique mais elles assombrissent le pronostic du traitement (13,14,15).

L'Association Américaine d'Endodontie (AAE) considère la réalisation de ces traitements endodontiques comme à haut niveau de difficulté compte tenu du risque de complications voire d'échecs (16,17).

La réalisation d'un examen tomographique à faisceau conique (CBCT) permet d'évaluer l'état de l'endodonte, la disposition, le nombre de canaux dentaires et ainsi estimer un axe de travail et une longueur de trépanation propre à chaque canal. Cet examen de seconde intention nous révèle ainsi les difficultés opératoires d'un tel traitement (18,19,20,21).

Actuellement, l'utilisation d'aide visuelle est recommandée pour ce genre de traitement (22,23,25), mais le risque de surtraitement voire d'échec thérapeutique nous incite à repenser la prise en charge de ces cas complexes (26,27).

La réalisation d'une microendodontie guidée, comprenant un guide de trépanation, une douille métallique et un foret adapté, pourrait présenter un intérêt potentiel pour la prise en charge de ces cas complexes (28,29,30,31,32,33,34,35,36,37).

Le but de cette étude de faisabilité est d'évaluer la perte tissulaire des trépanations au cours de microendodonties guidées sur dents à endodonte calcifié.

Cette étude *ex vivo* est réalisée sans aide visuelle sur des incisives minéralisées extraites et disposées dans un simulateur clinique.

I. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Mise en œuvre

Pour cette étude de faisabilité, quatre incisives humaines intactes ont été incluses dans un simulateur d'arcade conçu spécialement (38). Ces dents ont été extraites pour des raisons parodontales ou de santé générale et stockées dans le département d'Endodontie de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse (39). Cette étude n'a eu aucun impact sur le pronostic de conservation des dents utilisées, conformément aux règles établies par le Comité Consultatif National d'Éthique.

Le critère de jugement principal consiste à apprécier le volume tissulaire éliminé lors des trépanations aux cours de microendodonties guidées (40). Pour y parvenir nous allons réaliser un CBCT moyen champ du simulateur d'arcade contenant les dents (38,40). Il nous permettra d'analyser l'endodonte de chaque dent, de planifier les trépanations guidées des dents sélectionnées et de réaliser leur guide en impression 3D. Les trépanations guidées seront ensuite réalisées. Un nouvel examen CBCT moyen champ sera réalisé pour évaluer la perte tissulaire de chaque dent.

Cet examen radiologique reste un examen de seconde intention. Il ne se réalise qu'après une radiographie rétroalvéolaire et seulement en cas de nécessité : quand le tissu pulpaire n'est pas correctement visualisable, en cas d'anatomie complexe, de canaux accessoires non décelables, en cas de difficulté particulière constatée en cours de traitement, lors de la recherche de foyers infectieux non visible initialement, etc. (16,18,19)

D'autres critères sont consignés pendant cette étude comme la hauteur totale minimale nécessaire à la mise en place de notre dispositif, la durée de conception et de fabrication de notre guide et le produit dose surface (PDS) de nos examens radiographiques.

2. Simulateurs



Fig. 1 : Vue vestibulaire des simulateurs d'arcades



Fig. 2 : Vue occlusale des simulateurs d'arcades

Les simulateurs d'endodontie sont des moulages en plâtre d'arcades dentaires maxillaires et mandibulaires auxquels peuvent être intégrés des dents humaines préalablement conservées dans du formaldéhyde. Ces simulateurs permettent de réaliser des essais *ex vivo* et d'évaluer la balance bénéfice - risque d'une thérapeutique avant son application sur des patients. Ces simulateurs sont réalisés à partir de moules en caoutchouc développés par FRASACO® (modèle ANA-4 G) auquel est ajouté, pour le modèle comprenant les dents naturelles, une plaque réalisée en impression 3D (38,43). Au modèle antagoniste est incorporé une plaque de maintien métallique FRASACO® (modèle AN-4 ZP).

Les dents sélectionnées sont débarrassées de tout résidu de surface (plaque dentaire, tartre, ligament parodontal, ...) par l'intermédiaire d'insert à détartrer ultrasonique Newtron® - SATELEC (38,44).

Ces dents sont ensuite légèrement séchées à la seringue à air. Une fine couche de cire d'immersion (GEO Dip® orange transparent - RENFERT) est appliquée sur la surface radiculaire à l'aide du réchauffeur Hotty® (RENFERT). Elle sera complétée par une seconde couche au niveau de l'apex pour simuler radiologiquement le ligament parodontal.



Fig. 3 : Cire d'immersion

Les dents ainsi préparées sont mises en place dans le moule ANA-4 G maxillaire à l'emplacement approprié. Leur maintien est facilité par l'utilisation de cire collante (Sticky Wax® - KERR DENTAL).

La simulation de l'os trabéculaire est réalisée par une succession de coulées de plâtres. Une première coulée de plâtre de type 4 (Fujirock® EP – GC) en regard des volumes des couronnes dentaires non-remplacées est nécessaire pour assurer un bon maintien du guide de microendodontie lors des expérimentations.



Fig. 4 : Première coulée

Une seconde coulée de plâtre vient terminer la réalisation du modèle. Cet assemblage est composé de plâtre de type 4 Fujirock® EP (35 grammes), de sciure et copeaux de bois obtenus en récoltant le produit du forage de bois aggloméré avec un foret à bois de diamètre 8 (7 grammes), hydrocolloïde irréversible (alginate) Zelgan® 2002 - DENTSPLY (2 grammes) et d'eau froide (15 grammes) (38).



Fig. 5 : Seconde coulée avec plaque support

Une plaque est réalisée avec Meshmixer® puis imprimée avec une imprimante CEL Robox® 3D et du filament nGen Clear 1,75mm (ColorFabb®). Cette plaque est insérée de manière centrée suivant certains repères fixes avec cette dernière coulée de plâtre. Elle permettra de fixer le simulateur d'arcade au simulateur clinique.



Fig. 6 : Extradados - Socle

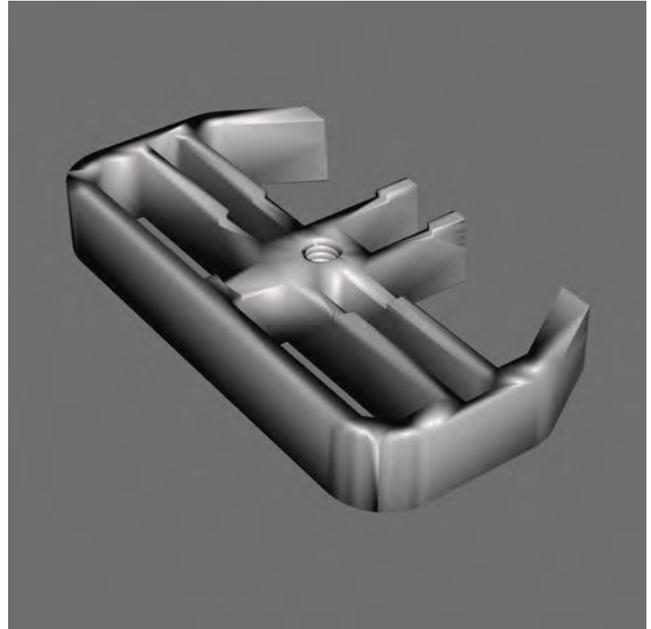


Fig. 7 : Vue de profil - Socle

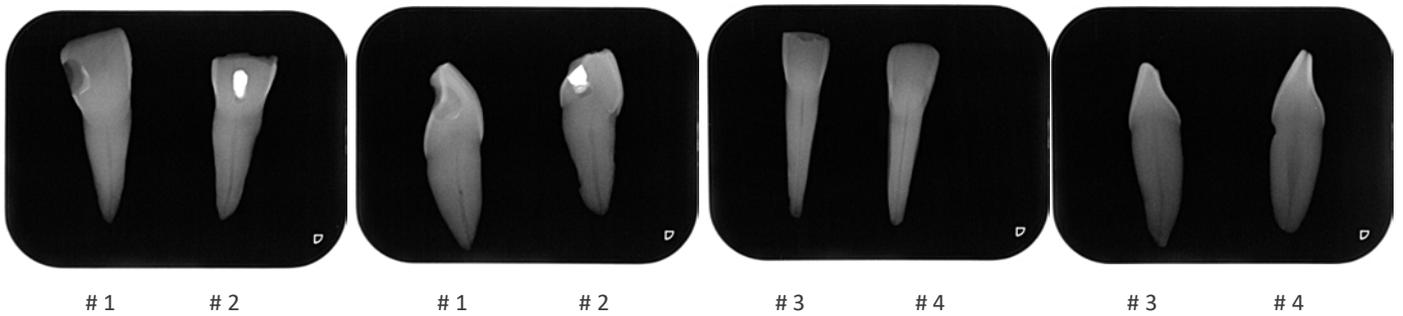
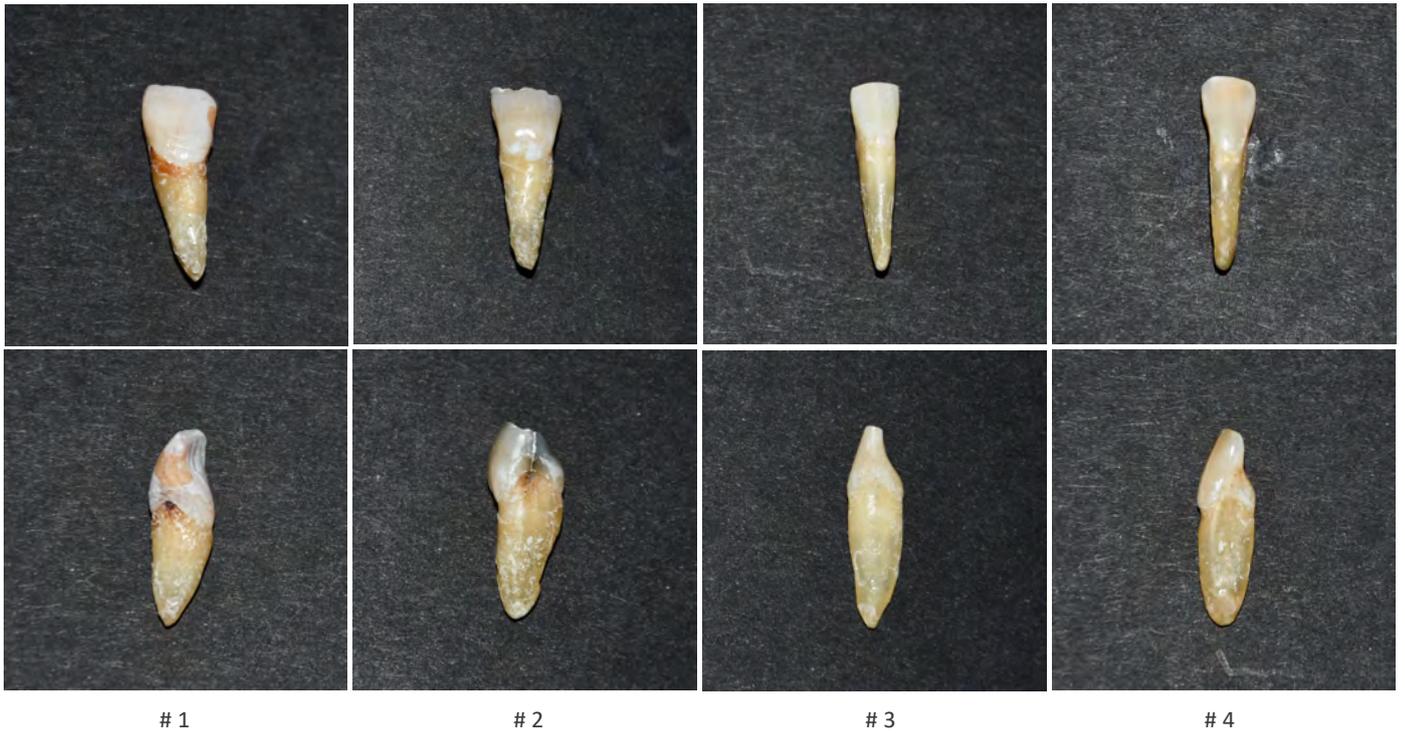
Cet assemblage permet d'obtenir des résultats satisfaisants au cours des examens CBCT. Il devient possible de bien délimiter les tissus dentaires du plâtre, plâtre ressemblant particulièrement au tissu osseux. Le but étant de se rapprocher le plus possible d'un CBCT *in vivo*.

En s'affranchissant de tout métal, cet assemblage permet de réaliser des CBCT sans risquer de voir l'apparition d'artéfacts pouvant nuire à l'interprétation des images (45).

Le modèle antagoniste est coulé en une seule étape avec du plâtre de Paris (plâtre dentaire Prestia® de type II – Dur n°1 – SINIAT)

Ces simulateurs d'arcades sont mis en place pour l'expérimentation dans une unité de simulation clinique Smily® de SARATOGA DANTAL.

3. Critères d'éligibilité des dents



- Critères d'inclusion :

- Dent extraite (*ex vivo*),
- Incisives centrales et latérales (maxillaire et mandibulaire),
- Couronne dentaire saine ou avec une restauration n'atteignant pas l'endodonte
- Chambre pulpaire peu volumineuse, minéralisée, pulpolithe (examen radiographique rétro-alvéolaire), (12,44)
- Lumière canalaire visible sur au moins 1/3 de la racine,

- Critères de non-inclusion :
 - Dents en bouche (*in vivo*),
 - Canines, prémolaires, molaires,
 - Pulpotomie ou traitement endodontique déjà réalisé,
 - Résection apicale et obturation rétrograde déjà réalisé,
 - Apex ouvert (dents permanentes immatures, résorption radiculaire apicale). Bien que la microendodontie guidée soit réalisable pour ce genre de dent, l'intérêt d'un tel traitement est limité par rapport à une prise en charge conventionnelle.
 - Chambre pulpaire volumineuse ou de volume normal, pour les mêmes raisons,
 - Canal très courbé. Les instruments de trépanation n'étant pas réalisés en alliage Ni-Ti, ils n'ont pas comme propriété la mémoire de forme.

- Critères d'exclusion :
 - Courbure canalaire trop importante empêchant la trépanation pulpaire sans perforation radiculaire.

Remarques :

- Ces dents sont numérotées de 1 à 4 afin de pouvoir les classer et les comparer avant et après notre expérimentation.
- Dans notre simulateur d'arcade maxillaire, nous avons placé les dents de la manière suivante :
 - Dent 11 : # 1
 - Dent 21 : # 2
 - Dent 22 : # 3
 - Dent 12 : # 4

4. Planification

La planification endodontique, à l'instar d'une planification implantaire, impose l'utilisation de logiciels spécifiques (28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,46,47,48,50,51,52,53,54,55).

Cette planification revient à définir l'axe de la cavité d'accès, le point initial de trépanation ainsi que la longueur de travail pour opérer avec seulement un degré de liberté. Au cours de cette étape, la création de tubes de guidage vient verrouiller les dimensions et la position des douilles métalliques. Cet exercice permet aussi d'apprécier qualitativement et quantitativement le volume dentaire total, le volume pulpaire total avant trépanation.

Pour cette planification, nous devons réaliser puis superposer un CBCT moyen champ (16,18,19,20,28,37,38,40) avec un scan de la surface du modèle de travail.

Selon Bauman & al. (2011), une dimension de voxel de 125µm assure une détection de 93,3% des canaux mésio-vestibulaires secondaires. Par extrapolation, des canaux dentaires minéralisés peuvent être détectés aussi efficacement avec une telle dimension de voxel (41).

Précisions :

- CBCT (42) :
 - Gendex CB-500 Cone Beam
 - Nombre d'images dans l'étude : 480
 - Taille de la matrice d'images : 680 x 680
 - Dimensions en voxels (mm) : X = 0.125 ; Y = 0.125 ; Z = 0.125
 - Système d'acquisition : Imaging Sciences International 9-17
 - FM (facteur de mouvement) : 0.0
 - DL : 0.0
 - Software : Anatomage Invivo™ 5

- Scanner de laboratoire :
 - o Scanner : inEos X5® - DENTSPLY SIRONA
 - o Software : inLab® SW 16.1

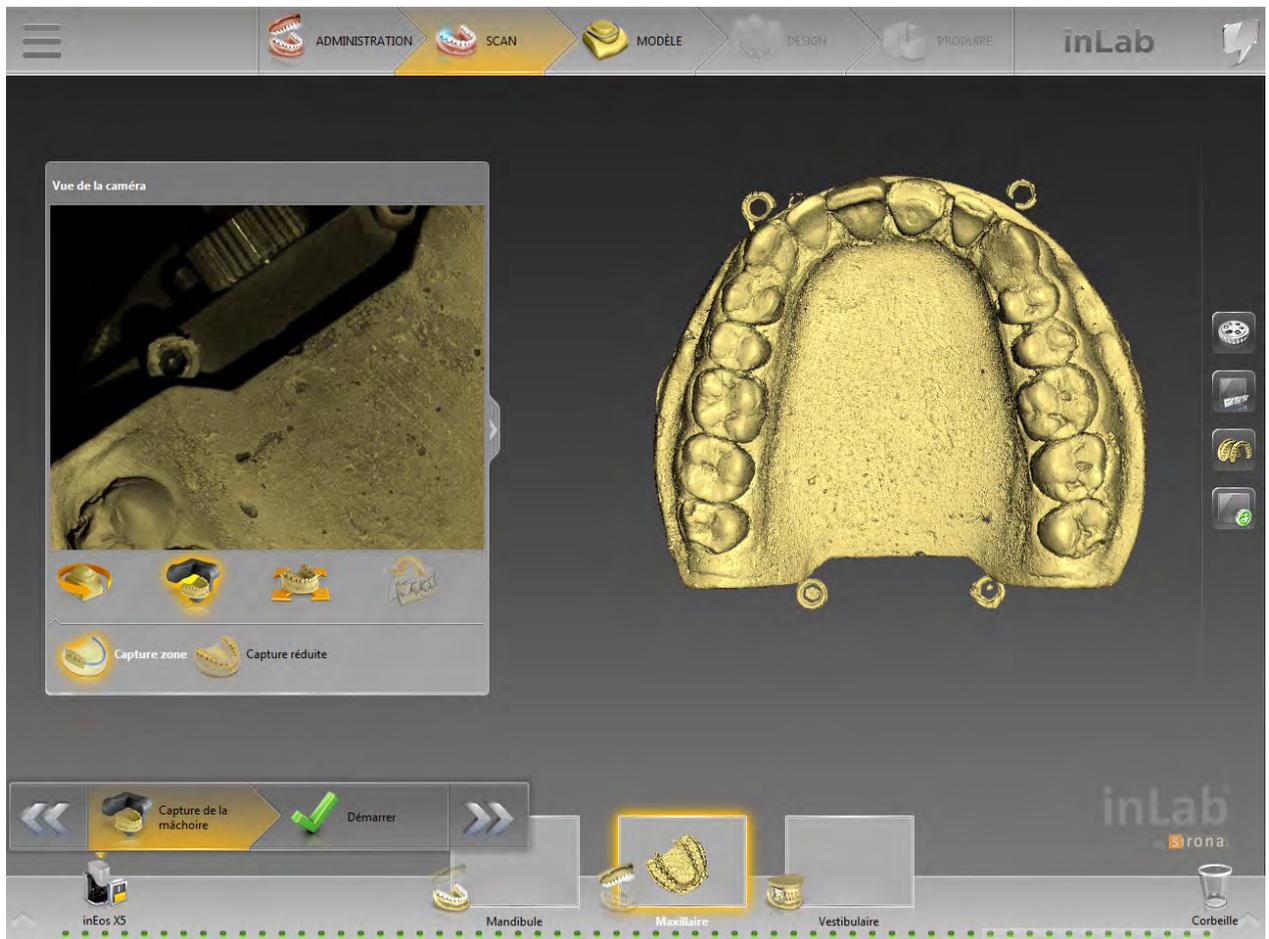


Fig. 8 : Scan modèle de travail – inLab®

Une fois l'axe de trépanation déterminé, un guide similaire aux guides implantaires est dessiné sur Blue Sky Plan® (56). Pour limiter les risques liés à un ajustage trop précis des différentes pièces, les tubes de guidages sont dessinés avec un diamètre interne de 3,15mm, soit une surestimation de 0,15mm de diamètre de la douille.

Il est ensuite contrôlé puis exporté au format STL. Pour assurer une stabilité suffisante, nous décidons d'englober au moins 2 dents supplémentaires de part et d'autre des dents à trépaner.

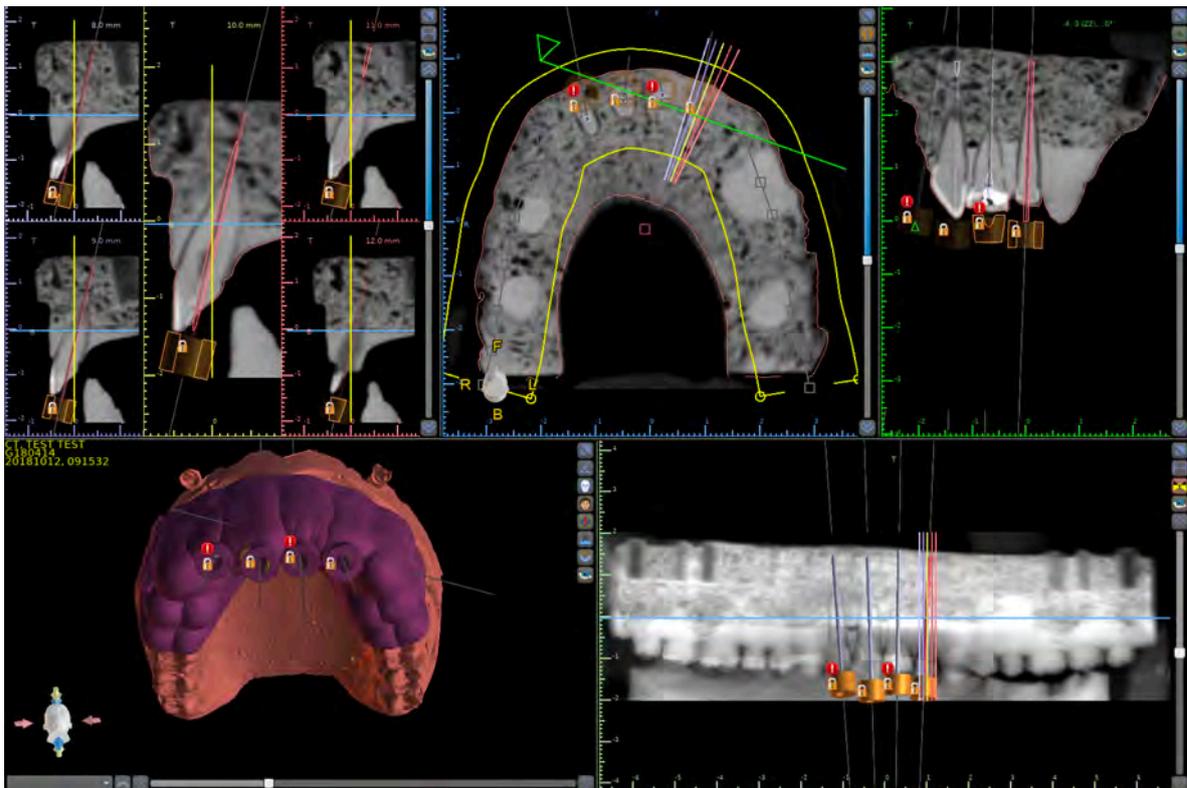


Fig. 9 : Guide planifié – Blue Sky Plan®

Au travers du logiciel RayWare® le fichier STL du guide est modifié. Une plateforme et des tiges supports sont ajoutés pour garantir une impression avec un minimum de risque de déformation. Par sécurité, il est imprimé un double de manière simultanée pour minimiser les risques d'un défaut de coulée. L'épaisseur de couche photopolymérisée est de 50 µm. Le matériau utilisé est de la résine acrylique photopolymérisable NextDent® SG - SprintRay Inc.

Les instructions sont envoyées à l'imprimante MoonRay® D - SprintRay Inc. qui réalise l'impression des guides avec la technologie DLP (Digital Light Processing).

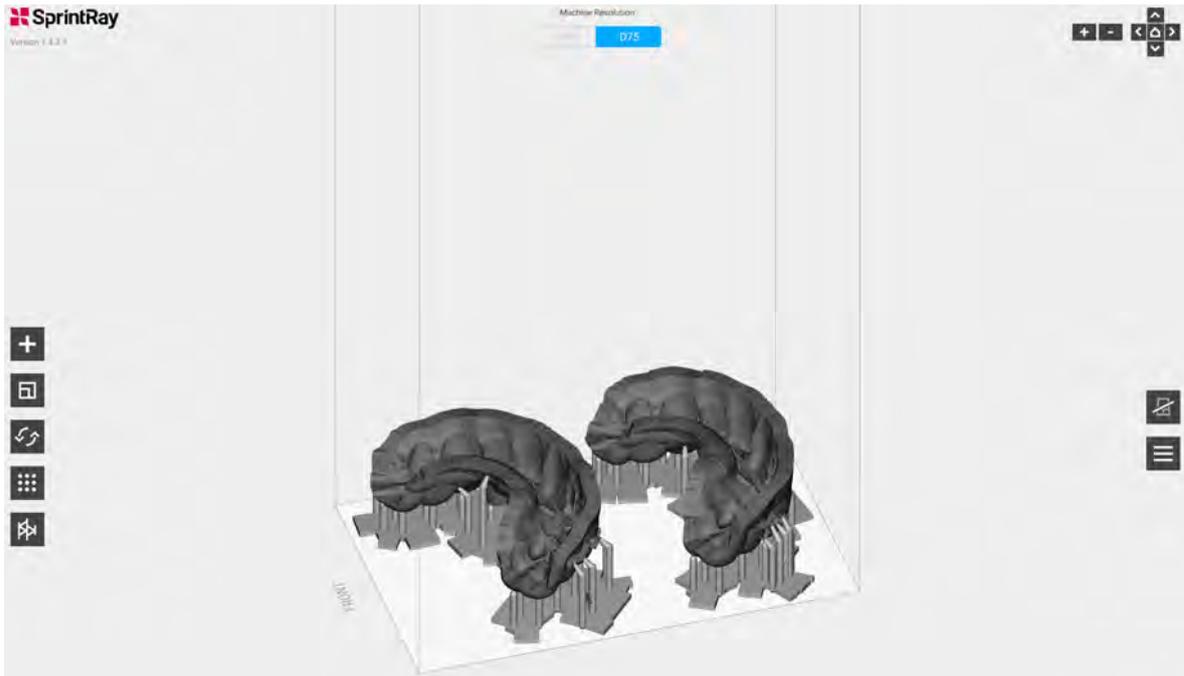


Fig. 10 : Planification impression 3D – SprintRay®

Une fois l'impression achevée, les guides sont séparés du socle de l'imprimante. Ils sont nettoyés et décontaminés dans 3 baignoires différentes d'alcool isopropylique – Propane-2-ol (2 minutes dans le premier bain, 10 minutes dans le deuxième bain ultrasonique, 10 minutes dans le troisième bain ultrasonique).

Une fois séchés, les guides sont placés dans une chambre de post-traitement UV (CUREbox® - WICKED ENGINEERING) à 40°C pendant 30 minutes.



Fig. 11 : Guides imprimés

Les guides sont ensuite débarrassés de leurs tiges de soutien et de leurs plateformes. Au cours de cette manipulation, l'un des deux guides présentait une erreur d'impression et a été retiré du projet.

Une douille ainsi qu'un foret de trépanation sont essayés afin de s'assurer que l'ajustage soit parfait.



Fig. 12 : Extrados guide – douille en place



Fig. 13 : Extrados guide – foret et guide en place

5. Protocole

Examen visuel et radiographique (rétro-alvéolaire) des dents sélectionnées (12,16,39,44).

Réalisation des simulateurs d'arcade comme précisé précédemment.

Réalisation du CBCT moyen champ (16,18,19,28) et du scanner de laboratoire.

Planification endodontique avec BlueSkyPlan® et exportation du guide au format STL.

Préparation des guides avec RayWare® et impression avec MoonRay® D.

Contrôle de la bonne mise en place des simulateurs d'arcades dans un simulateur clinique.

Contrôle de la bonne insertion du guide sur le simulateur d'arcade.

Aménagement des voies d'accès :

- Validation de l'insertion de la douille dans son tube de guidage.
- Validation de l'insertion passive du foret dans l'ensemble douille / guide.
- Validation de l'insertion du guide sur le simulateur d'arcade.
- Repérage du point initial de la cavité guide.
- Réalisation de la cavité guide en l'absence du guide, la forme des fraises boules diamantées ne permettant pas la conception d'un dispositif guidé suffisamment fiable. Dans un souci d'économie tissulaire, cette cavité guide doit être la plus fine possible.
- Trépanation guidée jusqu'à la mi profondeur de trépanation estimée.
- Radiographies rétro-alvéolaires orthogonales centrées et excentrées (règle de Clark) de contrôle foret en place et en l'absence du guide.
- Trépanation guidée jusqu'à la profondeur de trépanation estimée.
- Radiographies rétro-alvéolaires de contrôle foret en place en l'absence du guide (règle de Clark).
- Recherche de la lumière canalaire à l'aide d'une lime manuelle de cathétérisme acier K-10.
- Contrôle radiographique rétro-alvéolaire lime en place.
- Validation ou non de la trépanation.

Plateau technique :

- Miroir au rhodium (PRODONT HOLLIGER®),
- Guide de microendodontie en résine acrylique et douille en acier inoxydable,
- Turbine Synea® Vision TK-94 L – W&H (fonctionnant à 100 000 tr/min) et fraise boule diamantée 018 KOMET®,
- Contre-angle 1:2 Synea® Vision WK-66 LT – W&H (fonctionnant à 1 200 tr/min) et foret pilote taille III Dentoclic® - ITENA,
- Sonde EX DG 16 HU-FRIEDY®,
- Lime manuelle de cathétérisme acier K-10 et jauge de mesure (DENTSPLY MAILLEFER®),
- Tube radiographique rétro-alvéolaire (CARESTREAM® DENTAL) et capteur radiographique ERLM FMX taille 2 – SOREDEX®,
- Solution d'irrigation : NaOCl à 2,5% – R&S®,
- Seringue d'irrigation stérile (Endoneedle Luer Lock® – VMK) et embouts d'irrigation à déflexion latérale (canules n°30 – KERR®),
- Chélatant : EDTA à 8% – R&S®.

Réalisation d'un CBCT moyen champ post-opératoire afin d'évaluer qualitativement et quantitativement l'impact des trépanations guidées sur les dents traitées (40).

Matériel de photographie :

- Boitier : Canon® EOS 600D
- Objectif : Canon® EF 100mm f/2.8 Macro USM
- Flash : Sigma® EM-140 DG Macro E0-ETTL II
- Miroir : Miroir pour photo intrabuccal – NICROMINOX®

6. Échecs et erreurs de manipulation potentiels à consigner

Lors de la planification et de la conception du guide (47,57) :

- Erreurs de simulation et de planification de l'axe de trépanation sur Blue Sky Plan®.
- Erreur de manipulation du logiciel d'impression 3D RayWare®.
- Erreur d'impression de l'imprimante 3D MoonRay® et contrôle-qualité insuffisant : si ces erreurs d'impressions se répètent malgré un contrôle suffisant, l'imprimante Solflex® 350 (VOCO) remplacera la précédente.
- Propriétés du matériau d'impression insuffisant, manque de rigidité du guide.
- Mauvais positionnement de la douille dans son tube de guidage.
- Erreur de positionnement et de maintien du guide dans le simulateur.

Lors de l'élimination du tissu amélaire (47,57) :

- Axe erroné : trouver les raisons (erreur de conception ou de manipulation) puis retrait des tissus amélaire nécessaire afin de retrouver l'axe planifié.
- Surinstrumentation : nécessité de contrôler plus régulièrement la progression.

Lors de la trépanation (47,57) :

- Interférence de l'ensemble du système avec :
 - o L'arcade antagoniste.
 - o Le simulateur clinique.
- Erreur lors des trépanations :
 - o Mauvais positionnement du guide, de la douille ou du foret : nécessité de contrôler plus rigoureusement la mise en place de l'ensemble de l'instrumentation. Vérifier en cours de trépanation si l'ensemble reste bien en place. Si une erreur est constatée trop tard, il est nécessaire de réaliser des radiographies rétroalvéolaires (règle de Clark) ainsi que de corriger l'axe de trépanation (7,8,9).

- Déviation angulaire (57) : rechercher la cause et tenter une trépanation à partir d'une nouvelle planification.
- Fausse route et perforation : trouver les causes et retrouver l'axe planifié en effectuant des radiographies rétroalvéolaires (règle de Clark) (7,8,9).
- Contrôle radiographique insuffisant : s'assurer de pouvoir réaliser des clichés rétro-alvéolaires orthogonaux centrés et excentrés (règle de Clark) régulièrement au cours de la trépanation guidée.
- Rotation de la douille lors de la trépanation
- Fracture d'un instrument Dentoclic® : tentative de mobilisation avec des inserts endodontiques ultrasonores sinon arrêt du traitement endodontique initial.
- Tranchant du foret Dentoclic® insuffisant : contrôler le niveau d'usure après chaque passage instrumental dans une dent.

7. Analyses

- Analyse intrinsèque des dents :

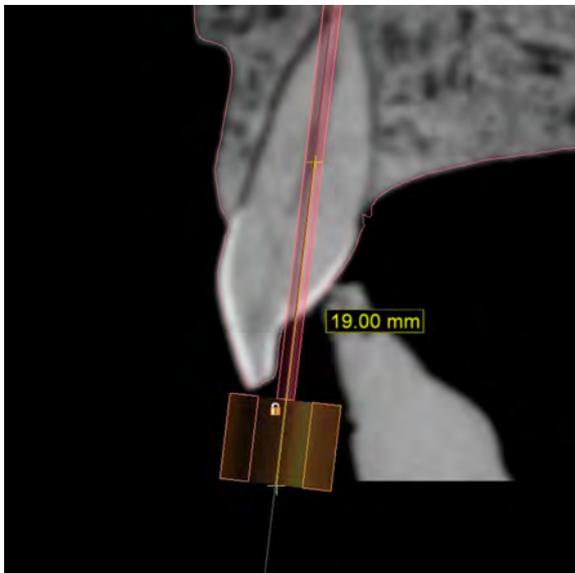
o Examen visuel :

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Couronne dentaire	Aspect normal.	Usure modérée du bord libre.	Aspect normal.	Légère usure cervicale en vestibulaire.
Restauration dentaire	Restauration directe de type résine composite localisée sur la face distale de la couronne.	Restauration directe de type amalgame localisé sur la face palatine de couronne.	Aucune restauration.	Aucune restauration.
Racine dentaire	Aspect normal.	Aspect normal.	Aspect normal.	Aspect normal.

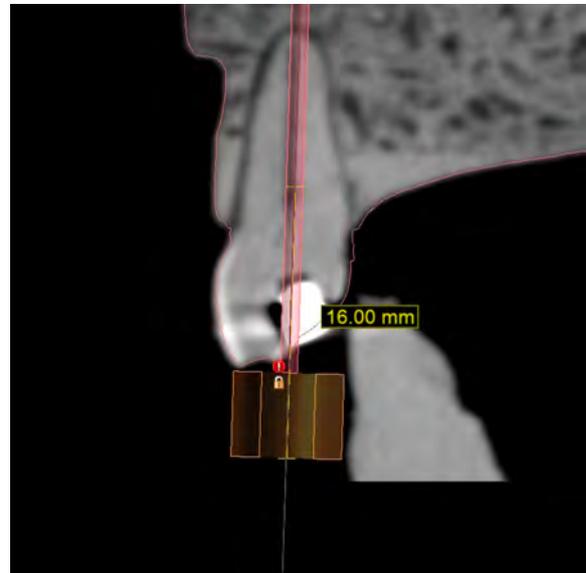
o Examen radiologique (rétro-alvéolaire, CBCT) :

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Morphologie radulaire	Dent antérieur monoradiculée, à canal unique, Légère courbure de la racine dentaire, Légère courbure (<10°) du 1/3 apical du canal dentaire.	Dent antérieur monoradiculée, à canal unique, Racine dentaire rectiligne, Légère courbure (<10°) du 1/3 apical du canal dentaire.	Dent antérieur monoradiculée, à canal unique, Racine dentaire rectiligne, Légère courbure (<10°) du 1/3 apical du canal dentaire.	Dent antérieur monoradiculée, à canal unique, Racine dentaire rectiligne, Absence de courbure canalaire.
Apparence radiologique canalaire	Apex mature, Réduction du volume pulpaire important, Oblitération canalaire de la portion coronaire.	Apex mature, Réduction du volume pulpaire important, Oblitération canalaire de la portion coronaire.	Apex mature, Réduction du volume pulpaire important, Oblitération canalaire de la portion coronaire.	Apex mature, Réduction du volume pulpaire important, Oblitération canalaire modérée de la portion coronaire.
Apparence radiologique canalaire	Apex mature, Réduction importante du volume pulpaire, Oblitération canalaire de la portion coronaire au-delà du collet anatomique.	Apex mature, Réduction importante du volume pulpaire, Oblitération canalaire de la portion coronaire au-delà du collet anatomique.	Apex mature, Réduction importante du volume pulpaire, Oblitération canalaire de la portion coronaire jusqu'au collet anatomique.	Apex mature, Réduction importante du volume pulpaire, Oblitération canalaire modérée de la portion coronaire.

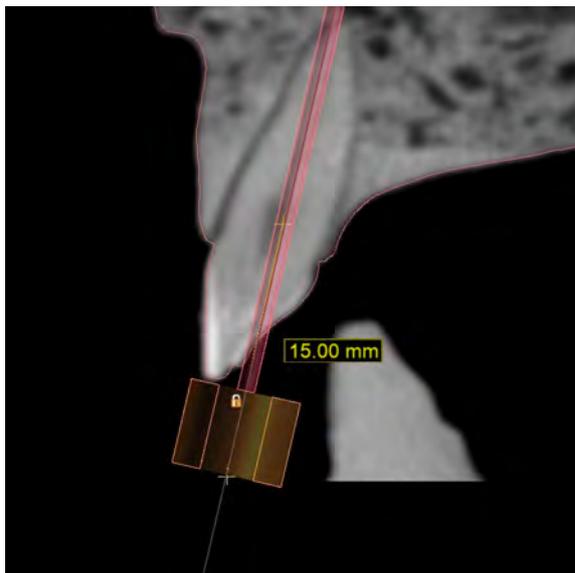
	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Résorption radiculaire	Aucune résorption.	Résorption apicale très modérée.	Résorption apicale très modérée.	Légère résorption interne sans communication extradentaire.
Antécédent endodontique	Aucun traitement.	Aucun traitement.	Aucun traitement.	Aucun traitement.
Longueur dentaire (longueur racine)	22,39 mm (13,26 mm)	19,61 mm (12,37 mm)	21,90 mm (14,66 mm)	21,96 mm (13,26 mm)
Profondeur de trépanation (repère coronaire au sommet de la douille)	19,00 mm	16,00 mm	15,00 mm	15,00 mm



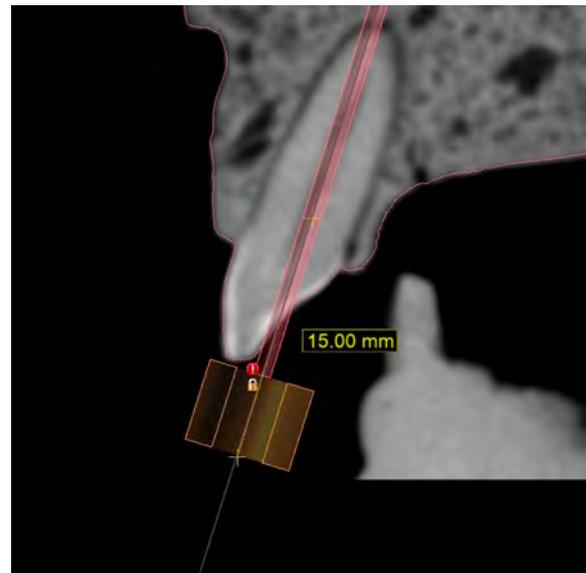
1



2



3



4

- **Analyse du simulateur d'arcade dans son simulateur clinique :**

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Position de la dent	Dent antérieure, Légère version distale (<10°), Absence de rotation.	Dent antérieure, Absence de version, Absence de rotation.	Dent antérieure, Absence de version, Absence de rotation.	Dent antérieure, Absence de version, Légère rotation distale (<10°).
Ouverture buccale	Absence de limitation d'ouverture buccale du simulateur clinique, Hauteur disponible secteur antérieur sans guide comprise entre 38 et 41 mm, Hauteur disponible secteur antérieur avec guide comprise entre 29 et 32 mm, Notre guide diminue la hauteur utilisable dans le simulateur de 9mm.			
Maintien de l'ensemble du système en position	Les simulateurs d'arcades sont maintenus immobiles dans le simulateur clinique de manière fiable grâce au système de fixation incorporé, Le guide de microendodontie est correctement stabilisé sur l'arcade dentaire maxillaire sans possibilité de mouvement parasite, Les douilles métalliques sont maintenues par friction au guide.			
Manipulation instrumentale	L'ensemble des instruments de travail (turbine + fraise boule, contre-angle + foret, miroir, sonde, spray air + eau, aspirations, etc.) sont facilement manipulable et utilisable dans le simulateur clinique avec ce dispositif.			

- **Paramètres évalués lors des trépanations guidées :**

- Analyse visuelle :

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Cavité guide	Évaluation qualitative du forage amélaire sans guide, Forage centré / décentré du tube de guidage.			
Mobilisation fonctionnelle du foret endodontique	Évaluation de l'absence ou non d'interférence, Évaluation de la facilité de progression au travers du dispositif, Évaluation du niveau de détérioration des douilles.			

- Analyse radiologique (rétro-alvéolaire) :

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Évaluation axe de forage à mi progression	Évaluation du respect ou non de l'axe de travail, Évaluation de l'absence de perforation, Évaluation de l'absence de fracture ou fissure radiculaire.			
Évaluation axe et longueur de forage en fin de trépanation	Évaluation du respect ou non de l'axe de travail ainsi que de la longueur de forage, Évaluation de l'absence de perforation, Évaluation de l'absence de fracture ou fissure radiculaire.			
Évaluation perméabilité canalaire	Évaluation de la perméabilité canalaire à l'aide d'une lime manuelle de cathétérisme en acier K-10			

- **Paramètres évalués en fin de trépanation :**

- Analyse radiologique (CBCT post-opératoire) :

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Longueur de trépanation (repère coronaire au sommet de la douille)				
Longueur effective de trépanation				
Diamètre de trépanation du 1/3 cervical	Les paramètres de ce tableau seront mesurés sur le CBCT post-opératoire à l'aides des outils présents dans le logiciel Blue Sky Plan®			
Diamètre de trépanation du 1/3 moyen				
Diamètre de trépanation du 1/3 apical				

- **Analyse basée sur le critère de jugement principal : évaluer la perte tissulaire des dents calcifiées trépanées à l'aide d'un guide de microendodontie.**

- Analyse visuelle :

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Respect bord libre couronne dentaire	Score 0 = respect, Score 3 = non-respect.			
Mobilisation / luxation dentaire	Mobilisation ou luxation dentaire de son alvéole artificielle, Score 0 = absence, Score 5 = mobilisation / luxation.			
Respect du point initial de trépanation	Forage centré / excentré du tube de guidage, Score 0 = centré, Score 2 = excentré.			
Respect des douilles	Évaluation du niveau de détérioration des douilles, Score 1 = absence d'usure ou usure d'usage prédictible, Score 2 = usure excessive, Score 5 = fracture douille.			
Respect des tubes de guidages / du guide	Évaluation du niveau de détérioration des tubes de guidages, du guide, Score 1 = absence d'usure ou usure d'usage prédictible, Score 2 = usure excessive, Score 5 = fracture tube de guidage ou guide.			
État des fraises boules diamantées	Évaluation du niveau de détérioration des tubes de guidages, du guide, Score 1 = absence d'usure ou usure d'usage prédictible, Score 2 = usure excessive, Score 5 = fracture fraise.			
État des forets de trépanations	Évaluation du niveau de détérioration des tubes de guidages, du guide Score 1 = absence d'usure ou usure d'usage prédictible, Score 2 = usure excessive, Score 5 = fracture foret.			

○ Analyse radiologique (CBCT) :

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Rapport longueur effective de trépanation dentaire / longueur dent au point de trépanation	Score 1 = rapport < 1/3 Score 2 = rapport ≥ 1/3 mais < 2/3, Score 3 = rapport ≥ 2/3 mais respect de la portion apicale, Score 5 = non-respect du foramen apical ou perforation de l'apex.			
Rapport diamètre trépanation / diamètre radiculaire au 1/3 cervical	Rapport du diamètre du 1/3 cervical de trépanation sur le diamètre radiculaire au même niveau Score 1 = respect de la lumière canalaire et rapport ≤ 1/3 Score 2 = respect de la lumière canalaire et rapport > 1/3 mais ≤ 1/2 Score 3 = respect de la lumière canalaire et rapport > 1/2 mais ≤ 2/3 Score 4 = rapport > 2/3 mais respect de la lumière canalaire Score 5 = non-respect de la lumière canalaire			
Rapport diamètre trépanation / diamètre radiculaire au 1/3 moyen	Rapport du diamètre du 1/3 médian de trépanation sur le diamètre radiculaire au même niveau Score 1 = respect de la lumière canalaire et rapport ≤ 1/3 Score 2 = respect de la lumière canalaire et rapport > 1/3 mais ≤ 1/2 Score 3 = respect de la lumière canalaire et rapport > 1/2 mais ≤ 2/3 Score 4 = rapport > 2/3 mais respect de la lumière canalaire Score 5 = non-respect de la lumière canalaire			
Rapport diamètre trépanation / diamètre radiculaire au 1/3 apical	Rapport du diamètre du 1/3 apical de trépanation sur le diamètre radiculaire au même niveau Score 1 = respect du foramen apical et rapport ≤ 1/3 Score 2 = respect du foramen apical et rapport > 1/3 mais ≤ 1/2 Score 3 = respect du foramen apical et rapport > 1/2 mais ≤ 2/3 Score 4 = rapport > 2/3 mais respect du foramen apical Score 5 = non-respect du foramen apical			
Fracture ou fêlure dentaire provoquée	Score 0 = absence, Score 5 = fracture / fêlure.			
Angle entre axe de forage / portion canalaire (plan vestibulo-palatin)	Permet d'apprécier l'angle d'entrée canalaire que devront subir les instruments endodontiques lors de l'ampliation canalaire suite à la trépanation dentaire.			
Déviations angulaires mesurées (plan vestibulo-palatin)	Déviations angulaires mesurées entre l'axe de trépanation planifié et l'axe de trépanation réalisé dans le plan vestibulo-palatin de la dent intéressée. Score 1 = 0° Score 2 = 1° Score 3 = 2° Score 5 = supérieur à 3°			
Angle entre axe de forage / portion canalaire (plan mésio-distal)	Permet d'apprécier l'erreur de précision de la trépanation dans le plan mésio-distal de la dent intéressée. L'axe planifié devait être aligné avec l'axe du canal dentaire			
Déviations angulaires mesurées (plan mésio-distal)	Déviations angulaires mesurées entre l'axe de trépanation planifié et l'axe de trépanation réalisé dans le plan mésio-distal. Score 1 = 0° Score 2 = 1° Score 3 = 2° Score 5 = supérieur à 3°			

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Distance entre le canal pulpaire et l'extrémité apicale du foret	Score 1 = 0 mm d'écart Score 2 = 0,2 mm d'écart Score 3 = 0,4 mm d'écart Score 5 = écart supérieur à 0,6 mm			

Remarques :

- Dans notre analyse, le score reflète le niveau d'économie tissulaire et le respect des structures dentaires (10,16,18,58). Ces paramètres sont le gage d'une résistance accrue à la fracture dentaire et d'une conservation plus importante sur le long terme (59,60,61).
- Un score faible est le témoin d'un traitement conservateur vis-à-vis des structures dentaires,
- Un score élevé reflète une fragilisation structurelle avec un taux de conservation limité voire compromis.

- **Critères de jugements secondaires** : ils nous permettent de mesurer des paramètres nous semblant intéressants pour avoir une vision plus globale de cette thérapeutique. Ces paramètres pourront donner lieu à des études complémentaires.

Hauteur totale minimale nécessaire	L'ensemble des instruments nécessaires à la réalisation de cette thérapeutique guidée nécessite une hauteur minimale. En dessous de cette hauteur / ouverture buccale, il est nécessaire de réévaluer l'intérêt de cette thérapeutique ou de l'adapter.
Durée de conception du guide	CBCT pré-opératoire Blue Sky Plan® Meshmixer® RayWare® Impression MoonRay® D Dégraissage ultrasonique Section tiges d'impression et polissage
Produit dose surface (PDS)	Rétro-alvéolaire (RA) pré-opératoire CBCT pré-opératoire RA per-opératoire RA post-opératoire CBCT post-opératoire
PDS cumulé	Ce point nous permet d'apprécier l'impact radiographique de cette thérapeutique.
PDS équivalent en endodontie non-guidée	Nous pouvons ainsi comparer la dose absorbée dans notre thérapeutique avec la dose estimée qui aurait été absorbé au cours d'une thérapeutique endodontique non guidée.

- Analyse de l'imprécision de la trépanation :
 - Nous allons calculer la déviation angulaire de trépanation permise par notre système.
 - Nous allons ensuite corréler le domaine d'exploration de nos forets aux surfaces dentaires dans un plan transversal.
 - Cette analyse montrera à partir de quelle profondeur de trépanation l'imprécision risque de conduire à une perforation.

II. RÉSULTATS

- Paramètres évalués lors des trépanations guidées :

o Analyse visuelle :

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Cavité guide	Réalisation aisée des cavités guides, Quantité de tissu éliminé importante comparé au point d'émergence des trépanations guidées, Forages centrés sur leur point initial de trépanation planifié.			
Mobilisation fonctionnelle du foret endodontique	Absence d'interférence entre douille et foret, aucun vissage relevé, Mobilisation facile du foret dans leur douille respective sans déviation ou déformation du foret perceptible, Absence de détérioration visuellement perceptible des douilles.			

o Analyse radiologique (rétro-alvéolaire) :

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Évaluation axe de forage à mi progression	Déviation de l'axe de forage, Absence de perforation.	Respect de l'axe de forage, Absence de perforation.	Respect de l'axe de forage, Absence de perforation.	Respect de l'axe de forage, Absence de perforation.
Évaluation axe et longueur de forage en fin de trépanation	Déviation de l'axe de forage, Absence de perforation (interruption de la procédure).	Légère déviation de l'axe de forage sans conséquence sur la thérapeutique endodontique, Absence de perforation.	Absence de déviation de l'axe de forage, Absence de perforation.	Légère déviation de l'axe de forage sans conséquence sur la thérapeutique endodontique, Absence de perforation.
Évaluation perméabilité canalaire (K-10)	Absence de perméabilisation canalaire.	Perméabilisation canalaire.	Perméabilisation canalaire.	Perméabilisation canalaire.

- Paramètres évalués en fin de trépanation :

o Analyse radiologique (CBCT post-opératoire) :

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Longueur de trépanation (repère coronaire au sommet de la douille)	19,00 mm	15,01 mm	14,82 mm	14,67 mm
Longueur effective de trépanation	9,48 mm	6,94 mm	5,77 mm	5,16 mm
Diamètre de trépanation du 1/3 cervical	0,95 mm	0,95 mm	0,95 mm	0,95 mm
Diamètre de trépanation du 1/3 moyen	0,95 mm	Sans objet (SO)	0,95 mm	SO
Diamètre de trépanation du 1/3 apical	Sans objet : - Le 1/3 apical du tissu pulpaire n'était pas oblitéré, - Les trépanations n'ont pas nécessité d'atteindre le 1/3 apical des dents pour assurer une perméabilisation canalaire, - Ce paramètre n'est donc pas relevé.			

- **Analyse basée sur le critère de jugement principal :**

○ Analyse visuelle (score)

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Respect bord libre couronne dentaire	0	2	0	0
Mobilisation / luxation dentaire	0	0	0	0
Respect du point initial de trépanation	0	0	0	0
Respect des douilles	1	1	1	1
Respect des tubes de guidages / du guide	1	1	1	1
État des fraises boules diamantées	1	1	1	1
État des forets de trépanations	1	1	1	1

○ Analyse radiologique – CBCT (score)

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Rapport longueur trépanation / longueur dent	2	1	1	2
Rapport diamètre trépanation / diamètre racine au 1/3 cervical	1	1	1	1
Rapport diamètre trépanation / racine au 1/3 moyen	5	1	1	1
Rapport diamètre trépanation / racine au 1/3 apical	SO	SO	SO	SO
Fracture ou fêlure dentaire	0	0	0	0
Angle entre axe de forage / portion canalaire (plan vestibulo-palatin)	171,91°	178,50°	165,24°	173,69°
Déviations angulaires mesurées (plan vestibulo-palatin)	5 (3,94°)	2 (0,18°)	1 (0°)	2 (0,5°)
Angle entre axe de forage / portion canalaire (plan mésio-distal)	172,4°	178,2°	180°	177,9°
Déviations angulaires mesurées (plan mésio-distal)	5 (7,6°)	2 (1,8°)	1 (0°)	3 (2,1°)
Distance entre le canal pulpaire et l'extrémité apicale du foret	5 (1,30 mm)	3 (0,51 mm)	1 (0,00 mm)	1 (0,00 mm)

⇒ **Score :**

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Total	27	16	10	14

- **Critères de jugements secondaires :**

Hauteur totale minimale nécessaire	45 mm (36 mm + 9 mm)
Durée de conception du guide	CBCT pré-opératoire : 5' (durée d'acquisition : 23'') Scanner de laboratoire : 10' Blue Sky Plan® : 20' RayWare® : 5' Impression MoonRay® D : 2h33' Dégraissage ultrasonique : 22' Section tiges d'impression et polissage : 8'
Produit dose surface (PDS)	RA pré-opératoire : 28,6 mGy.cm ² CBCT pré-opératoire : 432,8 mGy.cm ² RA per-opératoire : 28,6 mGy.cm ² RA post-opératoire : 28,6 mGy.cm ² CBCT post-opératoire : 432,8 mGy.cm ²
PDS cumulé	PDS cumulé = 951,4 mGy.cm ²
PDS équivalent en endodontie non-guidée	PDS nouvelle thérapeutique = 33,3 rétro-alvéolaires

○ **Fonction de corrélation longueur douille / imprécision trépanation :**

Soit x la longueur de la douille, il est possible de calculer la déviation angulaire maximale des trépanations guidées par une fonction telle que :

$$f(x) = \tan^{-1} \left(\frac{a - b}{x} \right)$$

Avec :

$f(x)$ = déviation angulaire (en°)

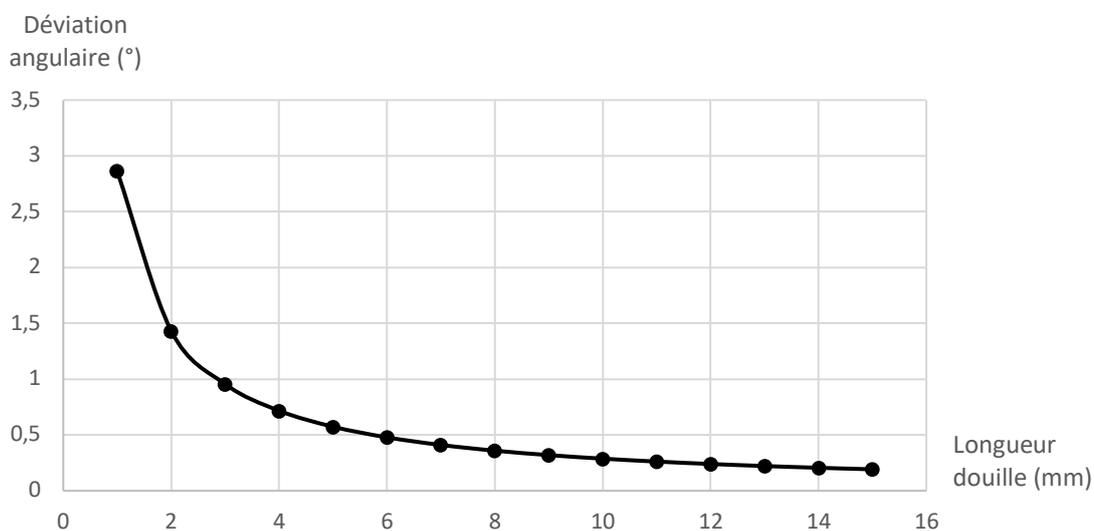
a = diamètre intérieur de la douille

b = diamètre du foret de trépanation

x = longueur de la douille (en mm)

Pour des douilles de longueur variant de 1,00 mm à 15,00 mm la déviation angulaire varie ainsi :

x : longueur de la douille (en mm)	$f(x)$: déviation angulaire (en °)
1	2,86
2	1,43
3	0,95
4	0,72
5	0,57
6	0,48
7	0,41
8	0,36
9	0,32
10	0,29
11	0,26
12	0,24
13	0,22
14	0,20
15	0,19



○ Domaine d'exploration du foret de trépanation :

Soit y la profondeur de trépanation, il est aussi possible de calculer le diamètre du disque de perforation potentielle. Ce disque, inclus dans un plan transversal au grand axe la dent, se localise à l'apex du foret de trépanation.

Cette fonction s'écrit ainsi :

$$f(y) = a + 2 \left(\frac{a - b}{L} \right) \times y$$

Avec :

$f(y)$ = diamètre du disque (en mm)

a = diamètre intérieur de la douille (en mm)

b = diamètre du foret de trépanation (en mm)

L = longueur de la douille (en mm)

y = profondeur de trépanation (en mm)

Dans notre étude :

$a = 1,00$ mm

$b = 0,95$ mm

$L = 5,00$ mm

Soit : $f(y) = 1,00 + 0,02 \times y$

Avec :

$f(y)$ = diamètre du disque (en mm)

y = profondeur de trépanation (en mm)

y	$f(y)$
1	1,02
2	1,04
3	1,06
4	1,08
5	1,10
6	1,12
7	1,14
8	1,16
9	1,18
10	1,20
11	1,22
12	1,24

y	$f(y)$
13	1,26
14	1,28
15	1,30
16	1,32
17	1,34
18	1,36
19	1,38
20	1,40
21	1,42
22	1,44
23	1,46
24	1,48

○ Mesures dentaires depuis le point d'émergence du foret :

	# 1 (11)	# 2 (21)	# 3 (22)	# 4 (12)
Longueur dentaire (mm)	23,04	20,13	22,01	22,10
Longueur coronaire (mm)	11,03	6,39	8,14	8,50
Longueur radiculaire (mm)	12,01	13,74	13,87	13,60

Pour mettre en avant les conséquences du domaine d'exploration de nos forets avec notre système, nous allons mesurer les dimensions mésio-distales (M-D) et vestibulo-palatines (V-P) de nos dents trépanées à chaque millimètre. Ces mesures commenceront au point de contact du foret avec la dent à trépaner. Elles seront comparées au domaine s'exploration des forets. La douille n'étant pas en contact avec la face palatine des dents à trépaner, les premiers millimètres d'exploration ne sont pas pris en compte.

Nos longueurs de trépanation étant mesurées au niveau d'un repère coronaire sur les douilles, il convient d'ajouter une longueur de 5,00 mm à nos mesures pour inclure la longueur des douilles.

Mesures #1 (11) :

Profondeur dent (mm)	Dimension couronne (M-D)	Dimension couronne (V-P)	Dimension racine (M-D)	Dimension radiculaire (V-P)
1	- (Sans objet)	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	7,84	4,27	-	-
6	7,18	5,61	-	-
7	6,95	6,46	-	-
8	6,72	6,78	-	-
9	6,18	7,04	-	-
10	5,65	7,05	-	-
11	5,42	6,78	-	-
12	-	-	5,37	6,51
13	-	-	5,21	6,68
14	-	-	5,01	6,51
15	-	-	4,60	6,03
16	-	-	4,48	5,96
17	-	-	4,06	5,66
18	-	-	3,80	5,13
19	-	-	3,54	4,70
20	-	-	3,08	3,85
21	-	-	2,92	3,04
22	-	-	1,78	1,75
23	-	-	1,05	1,04

Mesures #2 (21) :

Profondeur dent (mm)	Dimension couronne (M-D)	Dimension couronne (V-P)	Dimension racine (M-D)	Dimension radiculaire (V-P)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	6,64	5,81	-	-
4	6,61	6,25	-	-
5	5,92	7,40	-	-
6	5,29	7,24	-	-
7	-	-	5,24	6,84
8	-	-	5,23	6,41
9	-	-	5,01	6,27
10	-	-	4,73	6,21
11	-	-	4,38	5,87
12	-	-	4,17	5,35
13	-	-	3,88	4,86
14	-	-	3,63	4,45
15	-	-	3,32	4,25
16	-	-	3,16	3,80
17	-	-	2,94	3,58
18	-	-	2,79	3,15
19	-	-	1,97	2,07
20	-	-	0,78	0,92

Mesures #3 (22) :

Profondeur dent (mm)	Dimension couronne (M-D)	Dimension couronne (V-P)	Dimension racine (M-D)	Dimension radiculaire (V-P)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	4,68	3,80	-	-
5	4,51	4,70	-	-
6	4,31	5,37	-	-
7	4,10	5,73	-	-
8	3,94	5,78	-	-
9	-	-	3,76	5,53
10	-	-	3,71	5,49
11	-	-	3,43	5,47
12	-	-	3,14	5,45
13	-	-	3,10	5,31
14	-	-	3,01	5,02
15	-	-	2,55	4,64
16	-	-	2,26	4,55
17	-	-	1,94	4,18
18	-	-	1,54	3,71
19	-	-	1,25	3,25
20	-	-	1,12	2,71
21	-	-	1,01	1,53
22	-	-	0,58	1,10

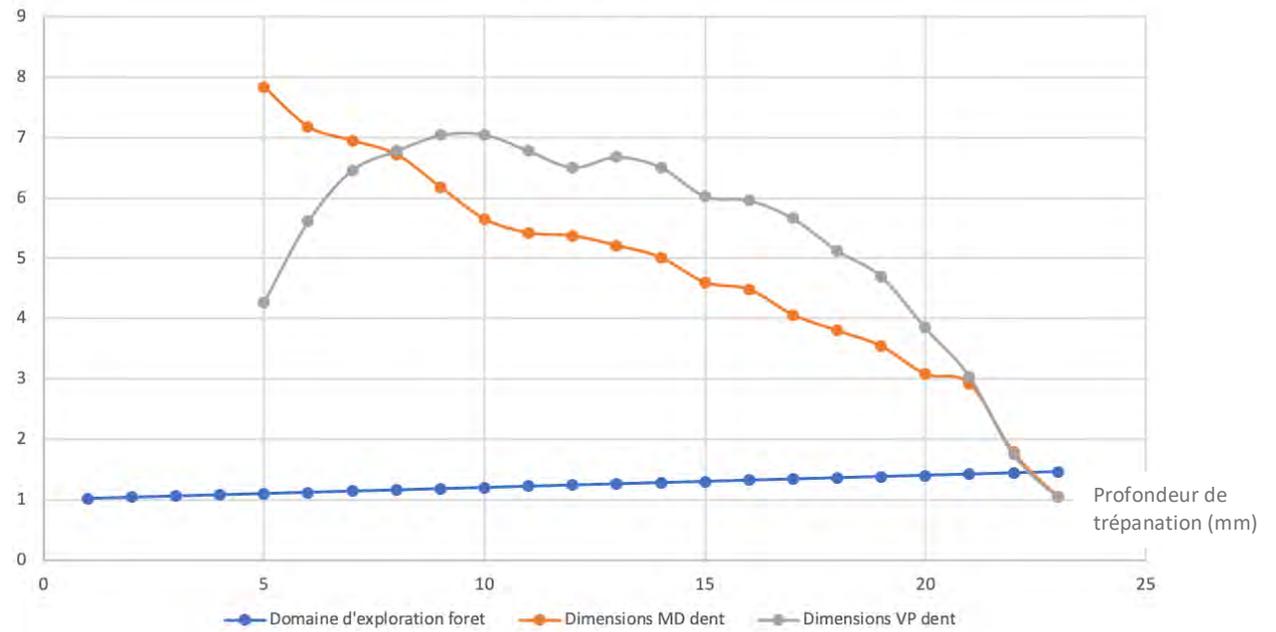
Mesures #4 (12) :

Profondeur dent (mm)	Dimension couronne (M-D)	Dimension couronne (V-P)	Dimension racine (M-D)	Dimension radiculaire (V-P)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	5,11	3,91	-	-
5	5,02	4,52	-	-
6	4,88	5,35	-	-
7	4,37	5,94	-	-
8	3,69	6,21	-	-
9	-	-	3,41	6,04
10	-	-	3,36	5,80
11	-	-	3,32	5,74
12	-	-	3,23	5,70
13	-	-	3,11	5,70
14	-	-	2,88	5,52
15	-	-	2,77	5,32
16	-	-	2,66	5,00
17	-	-	2,63	4,60
18	-	-	2,38	4,01
19	-	-	2,05	3,40
20	-	-	1,80	2,62
21	-	-	1,18	1,76
22	-	-	0,76	1,17

○ **Risque de trépanation par déviation angulaire :**

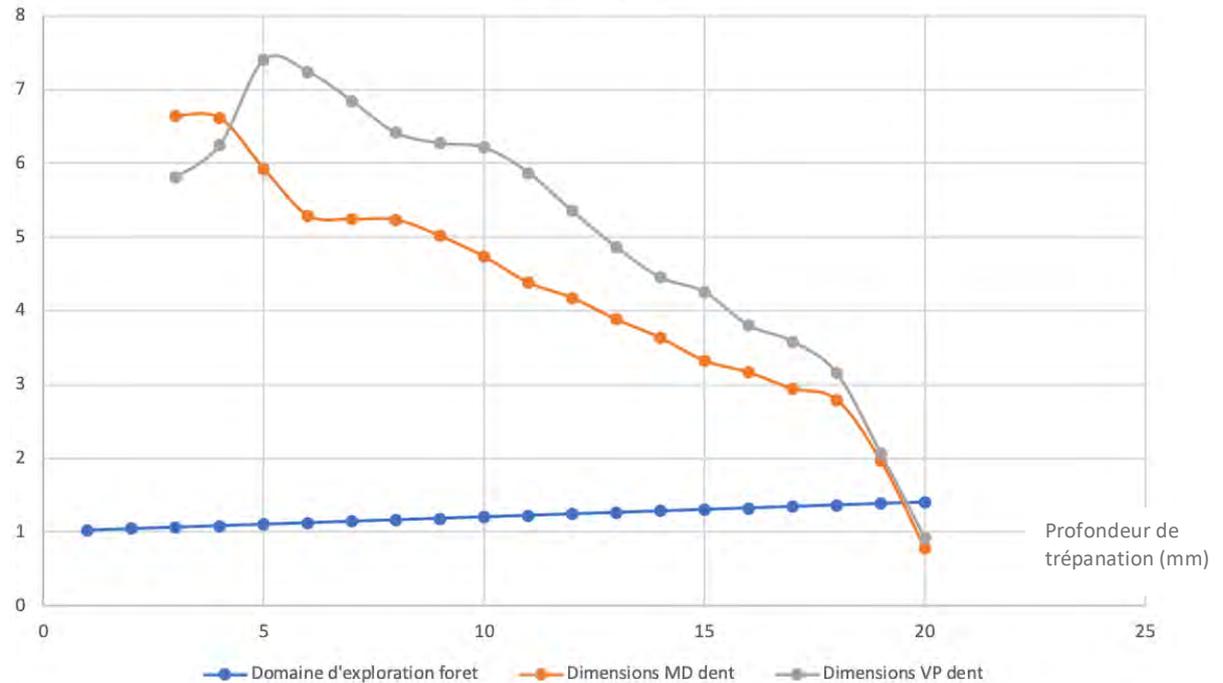
Dimensions dentaires (mm)

Diamètre du domaine d'exploration du foret (mm) **Dent #1 (11)**

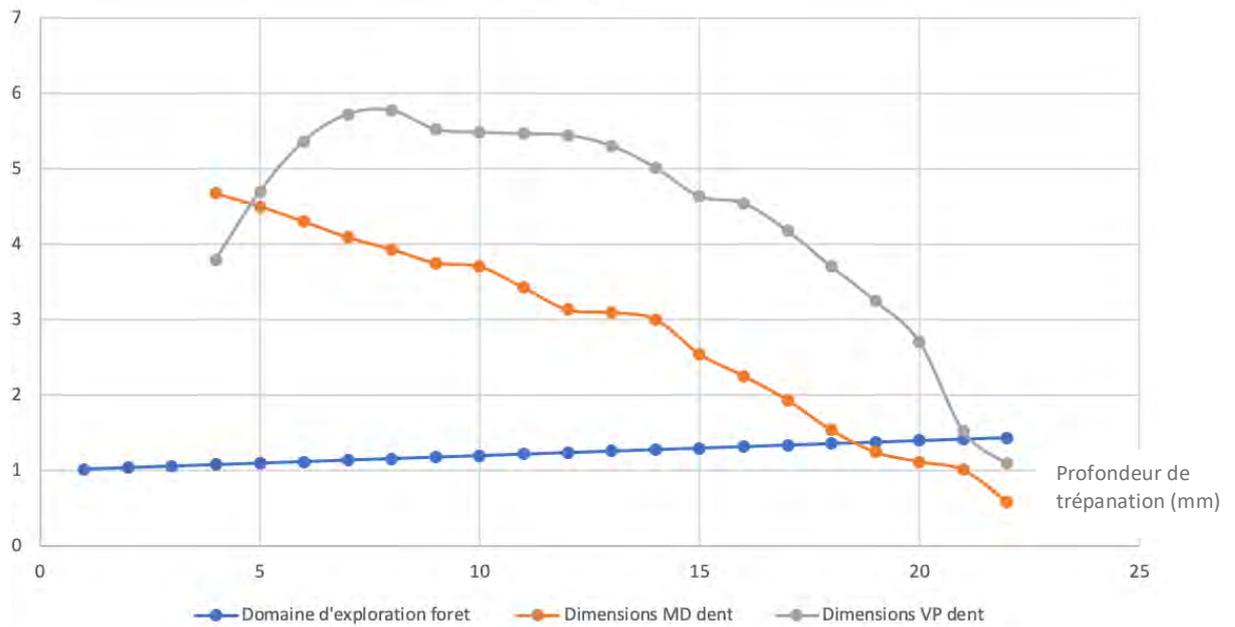


Dimensions dentaires (mm)

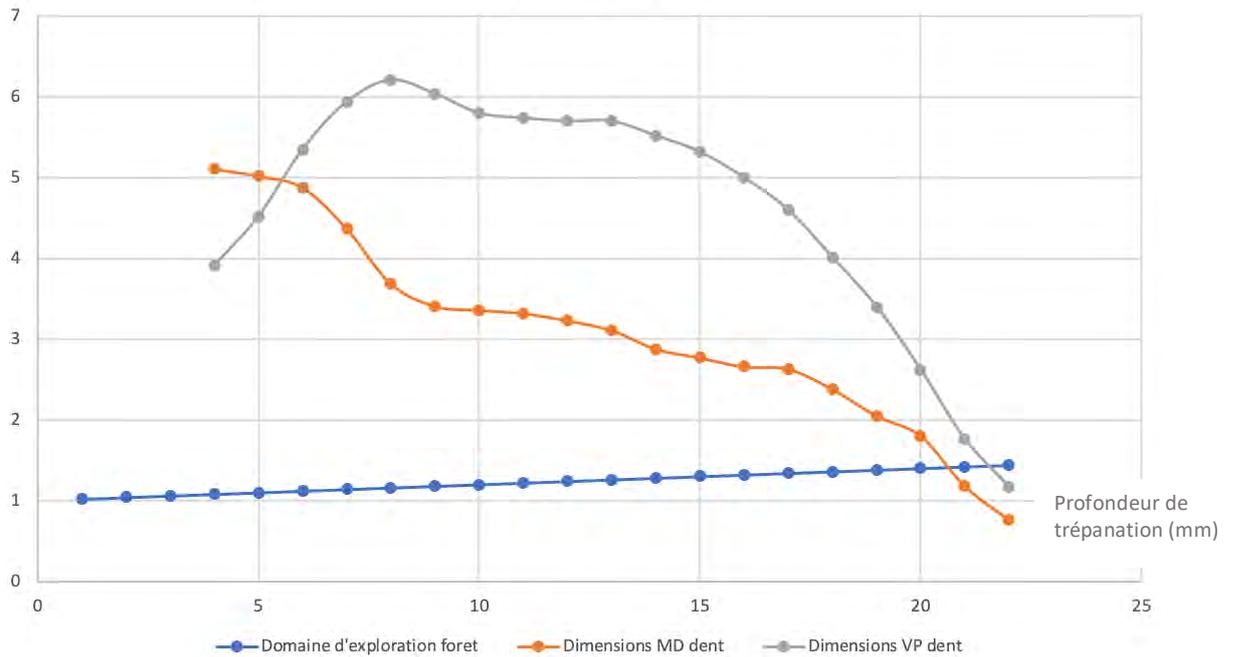
Diamètre du domaine d'exploration du foret (mm) **Dent #2 (21)**



Dimensions dentaires (mm)
Diamètre du domaine d'exploration du foret(mm) **Dent #3 (22)**



Dimensions dentaires (mm)
Diamètre du domaine d'exploration du foret(mm) **Dent #4 (12)**



En prenant seulement en compte la déviation angulaire du foret comme imprécision, le risque de trépanation se localise seulement au tiers apical de nos dents.

III. DISCUSSION

1. Interprétation

a. Interprétation des résultats des dents #2, #3, #4

Le délabrement tissulaire en regard des cavités guides montre l'intérêt de développer des fraises spécifiques pour travailler l'émail avec un guide. A l'image des forets de trépanation, ces fraises diamantées devraient être cylindriques et pourvues d'une portion travaillante localisée exclusivement à l'apex de l'instrument. Ceci afin d'éviter un délabrement des douilles.

La profondeur de trépanation ne dépassant pas le tiers moyen de la racine dentaire, son impact sur la résistance à la fracture radiculaire est grandement limité par rapport à une prise en charge conventionnelle en endodontie (59,60,61).

L'axe de trépanation a cependant légèrement varié entre la planification et la pratique. Cette incertitude a eu un impact significatif sur le succès initial de la dent #1.

Le respect du bord libre des dents traitées est un point important pour l'organe dentaire. Cette structure assure la section des aliments, un contact occlusal en propulsion et présente aussi un impact esthétique non négligeable.

Il nous semblait important de respecter cette structure au maximum. Pour cela, nous avons déplacé sensiblement notre point de trépanation en palatin et avons angulé l'axe de trépanation. Cette angulation dans le plan vestibulo-palatin ne pose pas de problème thérapeutique et est aussi constatée lors des prises en charges endodontiques conventionnelles. Cependant, la trépanation guidée de la dent # 2 (21) a nécessité l'atteinte de son bord libre pour assurer le succès de notre thérapeutique.

Dans notre expérimentation, nous avons décidé d'arrêter notre protocole lorsqu'une lime manuelle K-10 permettait la localisation du système endodontique. Notre but consistait à évaluer la perte tissulaire au cours de trépanations guidées, étapes initiales des microendodonties guidées. L'ampliation canalaire reste inchangée et s'opère de manière conventionnelle.

Les trépanations sont restées rectilignes. Le diamètre de trépanation mesuré sur le CBCT post-opératoire révèle des valeurs de 0,95 mm (le diamètre du foret de trépanation) ce qui revient à une atteinte inférieure au tiers de la largeur de la racine dentaire. Ces conditions sont favorables pour limiter les risques de fractures dentaires (59,60,61).

La légère flexibilité des forets Dentoclic® n'a eu aucune incidence sur l'axe et la direction de nos trépanations initiales. L'analyse au CBCT montre que nos trépanations sont rectilignes sur toute leur longueur.

La déviation angulaire entre l'axe planifié et l'axe de trépanation reste faible. Cependant on constate que les déviations dans le plan mésio-distal de la dent sont plus importantes que dans le plan vestibulo-palatin. On constate que ces légères déviations n'ont pas compromis l'accès à l'endodonte et à la perméabilisation canalaire pour les dents #2, #3, #4.

Cependant, plus la perte tissulaire est importante, plus la dent est fragilisée et plus sa survie au long cours diminue (58,59,60).

Les scores attribués aux dents #2, #3 et #4 sont compris entre 10 et 14, avec 15 paramètres évalués et notés de 0 à 5. Ces scores semblent plutôt positifs mais ils peuvent toujours être améliorés. Une des finalités de notre thérapeutique consiste à réaliser notre traitement endodontique tout en ayant le moins d'impact possible sur les structures dentaires saines.

○ Résultats de la #3 (22) :

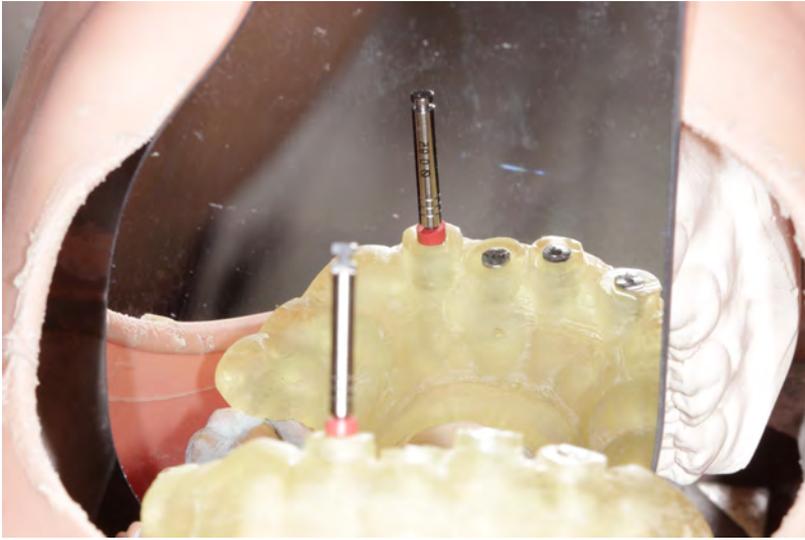


Fig. 14 : Vue endobuccale foret en place



Fig. 15 : Rétroalvéolaire foret en place

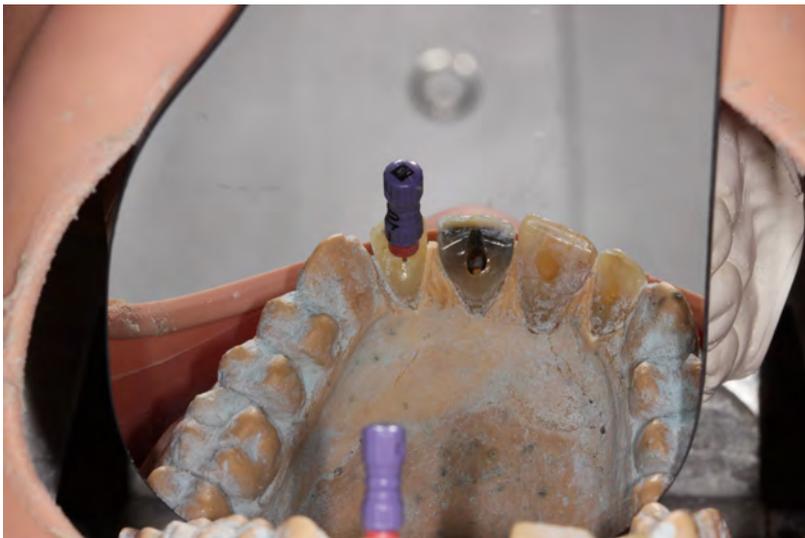


Fig. 16 : Vue endobuccale lime K-10 en place



Fig. 17 : Rétroalvéolaire lime en place

b. Échec de la dent #1 (11)

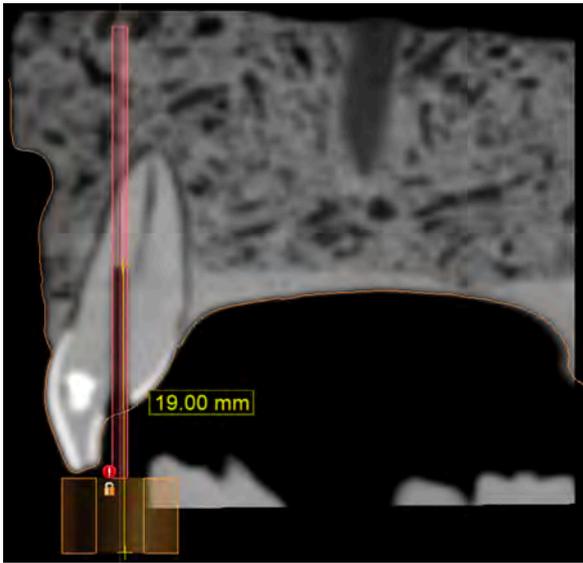


Fig. 18 : CBCT - plan méso-distal



Fig. 19 : Rétroalvéolaire foret en place

Une erreur s'est produite lors de la réalisation de notre protocole expérimental sur la dent # 1 (11).

On constate une déviation de l'axe de trépanation de $3,94^\circ$ dans le plan vestibulo-palatin et de $7,6^\circ$ dans le plan méso-distal. Ceci a pour conséquence une absence de localisation canalaire sur la profondeur de trépanation planifiée (19,00 mm). L'apex du foret de trépanation se retrouve à une distance de 1,30 mm du canal dentaire.

Compte tenu de l'absence de perforation radiculaire et de la possibilité de relocaliser le canal dentaire, une seconde tentative a été mise en place.

Une erreur de simulation et de planification de l'axe de trépanation sur Blue Sky Plan® est possible bien que peu probable compte tenu des contrôles réalisés.

Il s'est avéré que la réalisation d'un guide unique pour l'ensemble des dents limite la possibilité de positionner des fenêtres de contrôle de position, majorant ainsi le risque de malposition du guide.

De plus, une erreur d'impression du guide a pu survenir. Sur l'ensemble des six guides réalisés pour nos trépanations initiales, un seul semble s'être correctement imprimé, malgré un contrôle rigoureux d'experts pour la planification avec RayWare® et l'impression avec MoonRay®.

Une surestimation du diamètre externe de la douille a été pris en compte lors de l'impression du guide et de nos tubes de guidages afin de permettre l'insertion de cette dernière. Cette surestimation de 0,15 mm a pu contribuer à une insertion erronée de la douille pour la dent # 1 (11), bien que de fortes frictions étaient présentes à l'insertion.

Les douilles métalliques ne sont pas des dispositifs médicaux dédiés à l'endodontie. Il se pourrait que le niveau de fiabilité de nos douilles ne soit pas à la hauteur de nos besoins.

La légère flexibilité des forets de trépanation ne semble pas être en cause dans ce forage initial.

La réalisation de rétro-alvéolaires per-opératoires nous ont permis d'apprécier notre décalage dans un plan mésio-distal et d'interrompre notre thérapeutique. Par contre, la forme et la densité de notre simulateur d'arcade ne nous permettait pas d'obtenir d'images rétro-alvéolaires orthogonales excentrées exploitables.

c. Relocalisation de l'entrée canalaire sur la dent #1 (11)

Avant toute progression, nous avons contrôlé avec le CBCT post-opératoire l'absence de perforation dentaire et la possibilité de traitement de cette dent.

Nous avons réalisé une nouvelle planification en redressant l'axe entre notre forage et le tissu pulpaire afin de maximiser les chances de relocalisation canalaire.

Nous avons réalisé un nouveau guide avec un seul tube de guidage pour la 11 et une fenêtre de visée placée en regard de la 21. Cette fois-ci l'imprimante 3D Solflex® 350 (VODO) a été choisie. Cette imprimante nécessite une préparation du guide au format STL par Meshmixer® (7' de préparation) suivi par le logiciel Netfabb® Autodesk (6' de préparation supplémentaires) au lieu d'utiliser le logiciel RayWare®. L'impression a duré 3 heures. Sur les deux guides identiques à imprimer, un seul a correctement été réalisé.

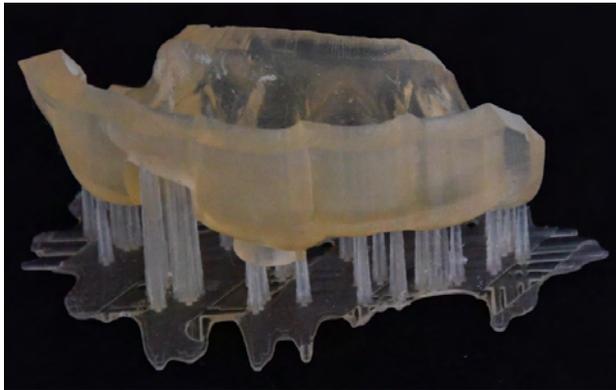


Fig. 20 : Guide imprimé



Fig. 21 : Extrados guide – douille en place

L'insertion de la douille est plus aisée qu'avec le guide précédent. Par précaution, de la colle cyanoacrylate a été appliqué sur les encoches en périphérie de la douille. Une fois mise en place dans son tube de guidage, la douille reste parfaitement immobile. Le guide s'insère correctement dans le simulateur.

Lors de la mise en rotation du foret de trépanation, sa légère flexibilité le conduit dans la cavité déjà réalisée. Il nous est alors nécessaire de travailler par appui pariétal pour retrouver la lumière canalaire. L'inconvénient majeur du dispositif est que les forets Dentoclic® utilisés sont conçu pour limiter les risques de fausse route lors d'utilisation à main levée. À l'instar des autres forets de sa catégorie, les contraintes de ce type peuvent entraîner une fracture de l'instrument à la jonction mandrin / partie travaillante. Plusieurs forets ont été nécessaires pour relocaliser cette entrée canalaire.

Nous obtenons un score final de 27, ce qui témoigne d'un plus grand impact de notre traitement sur cette dent. Sa survie au long terme en est d'autant plus limitée.



Fig. 22 : Repérage point initial cavité guide avec mine graphite



Fig. 23 : Contrôle insertion précise du guide

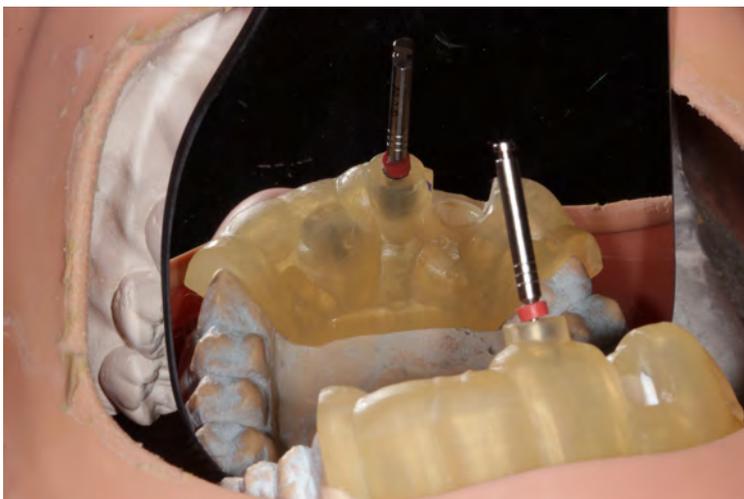


Fig. 24 : Vue occlusale foret en place



Fig. 25 : Radiographie foret en place



Fig. 26 : Vue occlusale lime K-10 en place



Fig. 27 : Radiographie lime en place

2. Limites

Au cours de notre échantillonnage, nous n'avons pas rencontré de dents suffisamment calcifiées pour nécessiter une trépanation jusqu'au tiers apical. Ces cas restent les plus intéressants pour montrer l'efficacité d'une prise en charge guidée.

Cependant, après calcul de l'imprécision maximale de l'ensemble douille/foret ($f(x)$), on constate que la déviation angulaire maximale est de $0,57^\circ$ par rapport à l'axe planifié.

L'imprécision du foret nous conduit à définir un domaine d'exploration. Sur sa portion la plus apicale, ce domaine décrit un disque dont le diamètre ($f(y)$) est inférieur aux dimensions de nos dents jusqu'au tiers apical. A partir de ce dernier tiers l'imprécision peut causer des risques de perforation radiculaires ou de fracture à moyen terme.

Cependant nous constatons que le risque de perforation lié aux dimensions de nos douilles et de nos forets reste très limité.

- Pour la dent #1 (11), le risque de perforation survient à 22,5 mm sur les 23 mm de la mesurés,
- Pour la #2 (21) ce risque survient à 19,5 mm sur les 20 mm,
- Pour la #3 (22) ce risque survient à 18,5 mm sur les 22 mm,
- Pour la #4 (12) ce risque survient à 20,5 mm sur les 22 mm.

Les points qui nous ont le plus fait défaut sont :

- Le nombre d'outils de planification différents nécessaires à la conception de notre guide qui potentialise le risque d'erreur ou d'incompatibilité corrigées ou jugées comme acceptable par le logiciel.
- Le niveau de performance des imprimantes 3D qui ne nous ont pas permis d'obtenir de guides reproductibles. A chaque impression 2 guides identiques étaient programmés sur le même plateau et seulement un, voire aucun guide, n'était imprimé correctement.

Cet ensemble d'imprécision a conduit à une fausse route sur le chemin de trépanation de la dent #1 (11). La réalisation d'une nouvelle planification a cependant permis de relocaliser l'entrée canalaire et de continuer sa prise en charge.

Selon Cassetta & coll. (2012), les erreurs intrinsèques des guides stéréolithographiques représentent 62,2% des erreurs potentielles en chirurgie implantaire guidée (47,57). Erreurs que nous retrouvons puisque notre thérapeutique s'appuie sur les principes de la chirurgie implantaire guidée.

L'optimisation de la phase de conception et fabrication assistée par ordinateur (CAD/CAM) doit être travaillée afin d'obtenir des résultats reproductibles.

Certains auteurs cherchent à stabiliser leurs guides endodontiques en les fixant à l'aide de vis d'ostéosynthèse dans le tissu osseux (34,35,36,47). Il serait intéressant d'évaluer le réel bénéfice de cette option chirurgicale sur le plan thérapeutique comme psychologique pour nos patients.

Le nombre de dents calcifiées utilisé pour cette étude reste réduit (4 dents) mais il est suffisant pour une étude de faisabilité. Nous cherchons avant tout à montrer que cette thérapeutique fonctionne et pourrait apporter un bénéfice non négligeable dans l'arsenal thérapeutique du chirurgien-dentiste spécialiste comme non spécialiste.

Bien que les aides visuelles aient prouvé leur efficacité dans une prise en charge endodontique conventionnelle (22,23,25), l'endodontie guidée semble ne pas nécessiter ce genre d'assistance ; compte tenu de la précision de la planification et de celle du couple douille/foret de trépanation.

Le protocole de réalisation du guide de microendodontie étant similaire à celui de la chirurgie implantaire guidée, il nécessite des logiciels identiques. Cependant, le diamètre de forage, ainsi que celui de la douille est bien inférieur au plus fin foret d'implantologie. Le matériel sélectionné n'est donc pas spécifique à ce genre de protocole. Le diamètre du foret Dentoclic® est de 0,95mm et la douille usinée pour cette étude a un diamètre interne de 1,00mm et un diamètre externe de 3,00mm. La différence de 0,05mm de diamètre est nécessaire pour assurer l'insertion du foret dans sa douille sans avoir d'effet de vissage pouvant bloquer l'ensemble.

Cependant la douille et le foret de trépanation n'ont pas été conçus conjointement, ce qui a pu majorer le risque d'imprécision de cet ensemble.

Dans notre étude, nous avons réalisé nos tubes de guidages avec un diamètre interne de 3,15mm soit une surestimation du diamètre de 0,15mm par rapport à nos douilles. Ce manque de précision est nécessaire pour permettre l'insertion d'une douille dans notre essai. Les douilles sont maintenues par friction sauf dans le second guide où l'usage d'une colle cyanoacrylate a été nécessaire garantir l'immobilisation complète de la douille.

L'utilisation d'un champ opératoire stérile nécessaire à tout traitement endodontique *in vivo* n'a pas été requis. La présence de plâtre au niveau des espaces utilisés pour le maintien d'une feuille de digue (sulcus, espaces interdentaires, etc.) limite sa mise en place. L'épaisseur de la feuille de digue serait un paramètre supplémentaire à prendre en compte au cours des prochaines études.

L'usage du scanner de laboratoire a permis d'obtenir numériquement une image de l'état de surface du modèle de travail. Cependant son utilisation *in vivo* n'est possible qu'après réalisation d'une empreinte conventionnelle qui serait scannée. Il serait judicieux de remplacer cet outil par une caméra intra-orale afin de réaliser une empreinte optique directement sur les surfaces intéressées.

L'imagerie médicale étant l'outil d'évaluation de cette expérimentation, le plâtre soutenant les dents est ainsi adapté afin d'avoir une image CBCT proche d'une image *in vivo*. Cependant cet examen radiologique n'est pas l'examen de référence, le μ CT.

Une étude récente (40) prouve que l'usage d'un CBCT dont la reconstruction serait comprise entre 75 et 100 μ m permettrait d'obtenir des images similaires à celles obtenues avec un μ CT. Cependant au cours de notre étude, le plus performant des CBCT à notre disposition avait une précision de 125 μ m. Cette dimension de voxel permet tout de même une analyse précise de nos structures et ne semble pas être en cause dans l'échec de la dent #1 (11) (41). Il aurait sans doute été difficile de planifier des trépanations guidées sur des dents davantage minéralisées.

Par contre, de volumineuses restaurations coronaires métalliques risquent de perturber voire de fausser la planification, à causes des artéfacts engendrés. Elles devraient être idéalement déposées avant d'engager un tel traitement.

De plus, ce protocole se limite à des dents à pulpe calcifiée. Un protocole conventionnel de prise en charge en endodontie reste la référence tant que le protocole de microendodontie guidé n'a pas apporté de preuve de supériorité.

L'ouverture buccale doit être suffisante pour utiliser l'ensemble du dispositif. Dans cette étude, la trépanation des dents du secteur antérieur ne présente pas de contrainte particulière. Par contre les dents du secteur postérieur nécessiteront une évaluation pré-opératoire afin d'indiquer ou de contre-indiquer cette thérapeutique selon le cas.

Une racine dentaire avec une courbure trop prononcée dans sa portion calcifiée limite l'application de ce protocole. Ces conditions imposeront l'application d'un protocole conventionnel de mise en forme canalaire ou la réalisation d'une chirurgie rétrograde faisant suite à une trépanation guidée.

L'application d'un tel protocole est aussi possible pour des dents dont l'endodonte est non minéralisé, très volumineux. Cependant son intérêt est limité puisque le tissu pulpaire est alors facilement accessible, d'autant plus dans les cas d'urgences bucco-dentaires douloureuses.

L'évaluation de la conservabilité initiale de la dent est nécessaire afin d'éviter un surtraitement ou un acharnement thérapeutique sur une dent qui est vouée à être extraite dans un avenir proche.

Au même titre qu'un traitement endodontique conventionnel, la réalisation d'une microendodontie guidée *in vivo* ne peut se faire que sous certaines conditions dans les cas de patient à haut risque d'endocardite infectieuse. Seul une pulpite irréversible dont tout le tissu pulpaire peut être éliminé de manière certaine en une seule séance et sous antibioprophylaxie serait possible avec ce protocole.

Compte tenu de la durée de mise en œuvre initiale (CBCT, conception et fabrication du guide), son application en urgence bucco-dentaire reste très limitée. Si la symptomatologie des dents à traiter est absente voire faible, il devient acceptable de différer le traitement et de planifier une prise en charge guidée.

Le produit dose surface (PDS) d'un tel protocole est de 951,4 mGy.cm² pour les dents #2, #3, 14, soit l'équivalent de 33,3 rétro-alvéolaires d'incisives maxillaires. La réalisation d'un CBCT pré-opératoire se justifie pour la planification de nos microendodonties guidée. Le CBCT post-opératoire n'a été effectué que pour nous permettre de prendre des mesures et pour planifier une nouvelle trépanation guidée de la dent #1 (11). En l'absence de complication, le CBCT post-opératoire n'est pas nécessaire chez un patient, les radiographies rétroalvéolaires étant suffisantes pour confirmer la localisation du tissu pulpaire.

Les PDS de la dent #1 (11) atteint 1412,8 mGy.cm² (3 CBCT + 5 RA), soit l'équivalent de 49,4 rétro-alvéolaires d'incisives maxillaires.

En dehors des cas où la réalisation d'un CBCT est indispensable pour une prise en charge conventionnelle, cette thérapeutique est bien plus irradiante. Ce désavantage est à évaluer, comparé au bénéfice apporté par un traitement endodontique plus efficient pour le patient comme pour le praticien.

Le coût final de cette thérapeutique est supérieur à celui d'un traitement endodontique conventionnel. L'investissement dans les logiciels et des machines d'impression 3D au cabinet peut varier de 1 500€ à 5 000€ en restant raisonnable, une caméra optique intra-orale peut varier de 20 000 à 47 000€, le CBCT avec convertisseur STL se chiffre en moyenne à 60 000€.

Sachant qu'il est toujours possible de déléguer la réalisation du CBCT au radiologue, de réaliser soi-même les empreintes des arcades et de demander la réalisation du guide au laboratoire de prothèse, le coût réel pour chaque cas peut varier de :

- Au cabinet : minimum 35€ (exportation avec Blue Sky Plan® et impression du guide).
- Au laboratoire de prothèse de ville : minimum 50€ si la douille est fournie par le cabinet.
- Avec le système Simplant® (DENTSPLY SIRONA) : entre 250€ et 300€ douilles fournies et avec l'impossibilité de dessiner soi-même le guide avec ses propres réglages.

3. Suites

À la vue de ces résultats et des autres publications dans ce domaine, un essai clinique randomisé devrait être mené pour chercher à démontrer cliniquement la différence d'efficacité entre ces deux techniques.

Avec les résultats obtenus par la fonction $f(x)$, il serait intéressant d'évaluer l'intérêt d'augmenter la longueur des douilles sur la précision du traitement, ceci en fonction de l'ouverture buccale du patient, et donc de la hauteur cliniquement disponible.

De même, évaluer la hauteur minimale acceptable serait intéressant pour augmenter les zones d'application de ce procédé.

L'utilisation de douille à ouverture latérale serait à étudier afin d'évaluer leur précision et leur utilisation potentielle dans les secteurs à hauteur réduite, au même titre que l'intérêt de douille partiellement insérées dans les cavités guides des molaires.

Pour des essais ultérieurs, il serait intéressant de pouvoir utiliser une série de forets cylindriques et douilles spécifiquement adaptés aux diamètres des séquences d'ampliations canalaires. Ceci afin d'améliorer l'économie tissulaire, de diminuer la hauteur minimale nécessaire ou encore d'augmenter la résistance des forets.

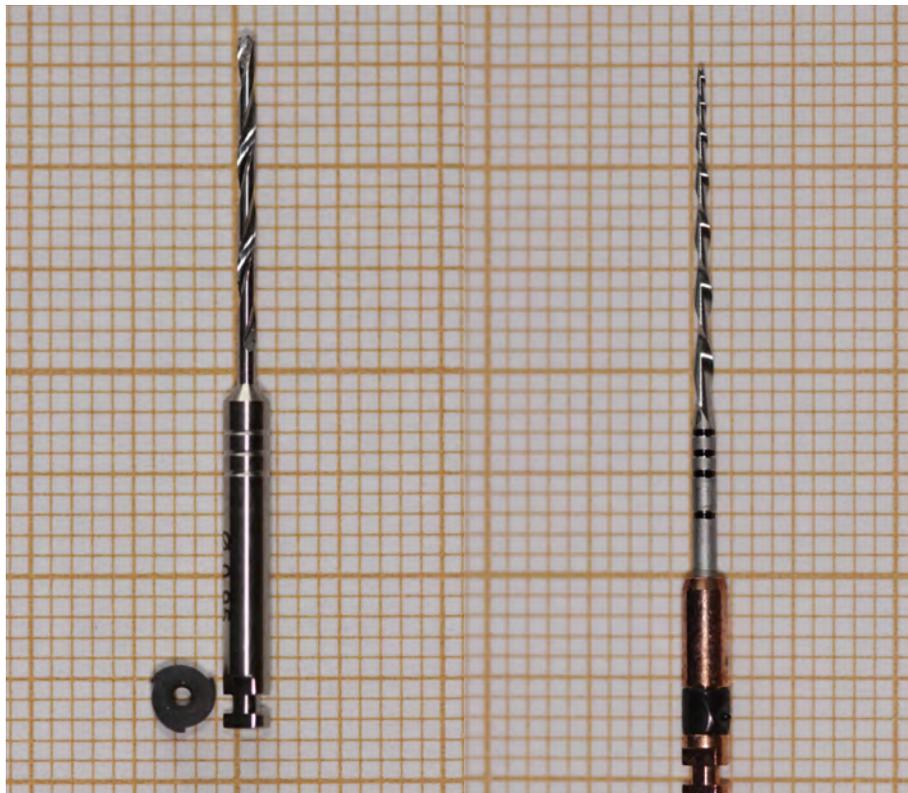


Fig. 28 : Dimensions foret de trépanation Dencoclic® III

Fig. 29 : Dimensions lime Reciproc® R-40

La durée des trépanations n'a pas été rigoureusement relevée compte tenu des arrêts très constants pour la réalisation des iconographies. Il serait intéressant de pouvoir comparer l'efficacité d'un tel protocole guidé comparé à une prise en charge sous microscope opératoire.

L'utilisation d'outils de réalité augmentée pourrait améliorer dans un avenir proche l'efficacité des techniques de prise en charge endodontique (62). Elles pourraient venir en complément ou en parallèle des techniques de microendodontie guidée.

Il serait tout aussi intéressant d'étudier la prise en charge des dents malformées pour améliorer le taux de succès de nos thérapeutiques à long terme. Certains auteurs ont présenté des rapports de cas montrant que cette thérapeutique pourrait présenter un intérêt notable (63,64,65,66,67,68).

De même, l'étude de la microchirurgie endodontique guidée pourrait assurer une meilleure prise en charge des cas d'apicectomie et un meilleur taux de survie à long terme (69,70,71).

En cas de reprise de traitement endodontique, la trépanation guidée au travers des restaurations corono-radicaux insérés en phase plastique permettrait de limiter grandement voire d'éviter les risques de perforations radicaux. Cette piste devrait être explorée afin de réévaluer la meilleure méthode de prise en charge de ces cas.

CONCLUSION

La prise en charge endodontique des calcifications pulpaire reste un défi majeur compte tenu du niveau de difficulté et du fort risque de complication ou d'échec thérapeutique (10,16,17). Ceci est particulièrement vrai pour les incisives mandibulaires avec un taux d'échec pouvant atteindre 71% (Cvek & al - 1982) (72).

La mise en place d'un guide de trépanation endodontique, à l'image du guide chirurgical implantaire, permet de travailler non-seulement avec un seul degré de liberté, mais aussi à une profondeur prédéfinie par un CBCT (18,48,49,53,54,55).

Ces mesures assurent une économie tissulaire majeure et une limitation des risques associés à ce genre de traitement. Même en cas d'erreur de localisation canalaire, le risque de perforation radiculaire reste limité. La gestion de ce genre de complication peut s'envisager avec une nouvelle planification (29,30,32,33).

Cette thérapeutique pourrait trouver un intérêt chez des praticiens non spécialistes et en l'absence de toute aide visuelle.

Dans cette étude, on constate un taux de succès immédiat de 75%, avec comme facteur principal d'échec une déviation angulaire de l'axe de perforation liée à l'imprécision de l'impression du guide. La gestion guidée d'une complication per-opératoire a permis de relocaliser l'entrée canalaire de la dent en échec thérapeutique, dent qui cliniquement aurait été conservée sur une arcade dentaire.

Des taux de succès comparables ne sont obtenus que par des endodontistes spécialisés et ceci après un long travail sous microscope opératoire, cette solution limitant sensiblement la prise en charge des cas complexes (14).

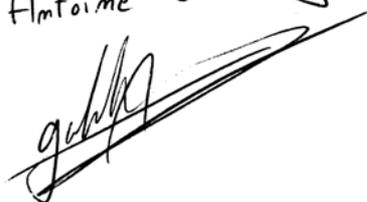
En prenant en compte les résultats de la littérature à ce sujet, on constate essentiellement des rapports de cas sans réelle standardisation de la prise en charge des patients (28,29,30,31,32,33,34,35,36). Une étude d'observation montre un certain gain de précision de l'endodontie guidée (73) mais le manque de rigueur du protocole limite la qualité des résultats observés.

Il serait maintenant judicieux de réaliser des essais cliniques à plus grande échelle en encadrant cette pratique naissante.

Monsieur
le directeur de thèse

 Laurent Jourdan

Monsieur
le co-directeur de thèse

Vu co-directeur de thèse
Antoine Galibourg


Monsieur
le Président du Jury

Pr. Franck Diemer



BIBLIOGRAPHIE

1. Johnstone M, Parashos P. Endodontics and the ageing patient. *ADJ* 2015;60(1 Suppl):20-27.
2. Andreasen FM, Kahler B. Pulpal response after acute dental injury in permanent dentition: clinical implications – a review. *Journal of Endodontics* 2015; 41:299-308.
3. Qassen A, da Motta Martins N, da Costa VPP, Torriani DD, Pappen FG. Long-term clinical and radiographic follow up of subluxated and intruded maxillary primary anterior teeth. *Dental Traumatology* 2014; 31:57-61.
4. Piette E, Golberg M. La dent – Normale et pathologique. *DeBoeck* 2001 [Text in French]
5. Goga R, Chandler NP, Oginni AO. Pulp stones: a review. *International Endodontic Journal* 2008. 41(6):457-68
6. Andreasen FM, Yu Z, Thomsen BL, Andersen PK. Occurrence of pulp canal obliteration after luxation injuries in the permanent dentition. 1987;3:103-15.
7. Simon S, Machtou P, Pertot WJ. JPIO Endodontie. *Édition CdP* 2012 [Text in french].
8. Pertot WJ, Simon S. Réussir le traitement endodontique. *Quintessence International* 2009 [Text in french].
9. Tarabinejad M, Walton RE, Fouad AF. Endodontie : principes et pratique. *ELSEVIER-MASSON* 2016 [Text in french].
10. ESE. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *IEJ* 2006. 39:921-930.
11. Robertson A, Andreasen F, Bergenholtz G, Andreasen J, Noren J. Incidence of pulp necrosis subsequent to pulp canal obliteration from trauma of permanent incisors. *Journal of Endodontics* 1996; 22:557-60.
12. Oginni AO, Adekoya-Sofowora CA, Kolawole KA. Evaluation of radiographs, clinical signs and symptoms associated with pulp canal obliteration: an aid to treatment decision. *Dental Traumatology* 2009; 25:620-5.
13. Holcomb JB, Gregory WB Jr. Calcific metamorphosis of the pulp: its incidence and treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1967; 24:825-30.
14. Kiefner P, Connert T, El Ayouti A, Weiger R. Treatment of calcified root canals in elderly people: a clinical study about the accessibility, the time needed and the outcome with a three-year follow-up. *The Gerodontology Association* 2016.

15. Krishan R, Paqué F, Ossareh A, Kishen A, Dao T, Friedman S. Impacts of Conservative Endodontic Cavity on Root Canal Instrumentation Efficacy and Resistance to Fracture Assessed in Incisors, Premolars, and Molars. *Journal of Endodontics* 2014.
16. American Association of Endodontists. Endodontic case difficulty assessment and referral. *American Association of Endodontists* 2005.
17. McCabe PS, Dummer PMH. Pulp canal obliteration: an endodontic diagnosis and treatment challenge. *IEJ* 2012. 45:177-197.
18. AAE and AAOMR joint position statement: use of cone beam computed tomography in endodontics 2015 update. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2015;120(4):508-12.
19. Patel S, Durack C, Abella F, Roig M, Shemesh H, Lamnrechts P, Lemberg K. European society of endodontology position statement: the use of CBCT in endodontics. *Int. Endod J* 2014;47:502-4.
20. van der Meer WJ, Vissink A, Ng YL & al. 3D computed aided treatment planning in endodontics. *J Dent* 2016; 45:67-72.
21. Nayak A, Jain PK, Kankar PK, Jain N. Computer-aided design-based guided endodontic: A novel approach for root canal access cavity preparation. *Journal of Engineering in Medicine* 2018.
22. Del Fabbro M, Taschieri S, Lodi G, Banfi G, Weinstein RL. Magnification devices for endodontic therapy. *Cochrane Database Syst Rev* 2015. 9;(12):CD005969.
23. Mallet JP. Microdentisterie et systèmes optiques. *Rev Odonto-Stomatol* 2002 ;31(2) :83-107. [Text in French]
24. Fiches des procédures cliniques du Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice E2 – E7 – E11 – E12 – E13 – E20. [Text in french]
URL: <http://www.cneoc.eu> - <http://www.unsof.org/ressources/oce?page=5>
25. Mohammadi Z, Asgary S, Shalavi S, V Abbott P. A clinical update on the different methods to decrease the occurrence of missed root canals. *Iran Endod J* 2016;11(3):208-13.
26. Soares de Toubes KM, Alves Drummond de Oliveira P, Machado SM, Pelosi V, Nunes E, Ferreira Silveira F. Clinical Approach to Pulp Canal Obliteration: A Case Series. *IEJ* 2017.
27. Lang H, Korkmaz Y, Schneider K & al. Impact of endodontic treatments on the rigidity of the root. *J Dent Res* 2006; 85:364-8.

28. Buchgreitz J, Buchgreitz M, Mortensen D, Bjørndal L. Guided access cavity preparation using cone-beam computed tomography and optical surface scans: an *ex vivo* study. *Int Endod J* 2015; 49:790-5.
29. Zehnder MS, Connert T, Weiger R, Krastl G, Kühl S. Guided Endodontics: Accuracy of a novel method for guided access cavity preparation and root canal location. *Int Endod J* 2015; 49:966-72.
30. Krastl G, Zehnder MS, Connert T, & al. Guided endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology. *Dent Traumatol* 2016; 32:240-6.
31. Galibourg A, Mourlan L, Lhussa J. L'endodontie assistée par ordinateur ... C'est possible ? *Le fil dentaire*. 25 mai 2018 [Text in french].
32. Connert T, Zehnder MS, Weiger R, Kühl S, Krastl G. Microguided Endodontics: Accuracy of a miniaturized technique for apically extended access cavity preparation in anterior teeth. *Journal of Endodontist* 2017; 43:787-90.
33. Connert T, Zehnder MS, Amato M, Weiger R, Kühl S, Krastl G. Microguided Endodontics: a method to achieve minimally invasive access cavity preparation and root canal location in mandibular incisors using a novel computer guided technique. *Swiss Society of Endodontology* 2017
34. Lara-Mendes STO, Barbosa CFM, Santa-Rosa CC, Machado VC. Guided endodontic access in maxillary molars using cone-beam computed tomography and computer-aided design/computer-aided manufacturing system: a case report. *J Endod* 2018 ;44(5) :875-879.
35. Fonseca Tavares WL, Diniz Viana AC, de Carvalho Machado V, Feitosa Henriques LC, Ribiero Sobrinho AP. Guided endodontic access of calcified anterior teeth. *J Endod* 2018;44(7):1195-1199.
36. Lara-Mendes STO, Barbosa CFM, Machado VC, Santa-Rosa CC. A new approach for minimally invasive access to severely calcified anterior teeth using the guided endodontics technique. *J Endod* 2018;44(10):1578-1582.
37. Torres A, Shaheen E, Lambrechts P, Politis C, Jacobs R. Microguided Endodontics: a case report of a maxillary lateral incisor with pulp canal obliteration and apical periodontitis. *Int Endod J*. 2018
38. Michetti J, Basarab A, Tran M, Diemer F, Kouamé D. Cone-Beam Computed Tomography contrast validation of an artificial periodontal phantom for use in endodontics. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2015;2015:7905-8.

39. Fantozzi G, Leuter C, Bernardi S, Nardi GM, Continenza MA. Analysis of the root morphology of European anterior teeth. *Ital J Anat Embryol.* 2013; 118(1):78-91
40. Michetti J, Basarab A, Diemer F, Kouame D. Comparison of an adaptive local thresholding method on CBCT and μ CT endodontic images. *Institut of Physics and Engineering in Medicine* 2017.
41. Bauman R, Scarfe W, Clark S, Morelli J, Scheetz J, Farman A. Ex vivo detection of mesiobuccal canals in maxillary molars using CBCT at four different isotropic voxel dimensions. *Int Endod* 2011;44(8):752-8.
42. European Commission. Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology (evidence-Bases guidelines). *European Commission* 2012. Radiation protection N°172.
43. Werz SM, Zeichner SJ, Berg BI, Zeilhofer HF, Thieringer F. 3D Printed Surgical Simulation Models as educational tool by maxillofacial surgeons. *Eur J Dent Educ.* 2018;1-6
44. Kuyk JK, Walton RE. Comparison of the Radiographic Appearance of Root Canal Size to its Actual Diameter. *JOE* 1990:16(11)
45. Fakhar HB, Rashtchian R, Parvin M. Effect of dental implant metal artifacts on accuracy of linear measurements by two cone-beam computed tomography systems before and after crown restoration. *J Dent (Tehran)* 2017;14(6):329-336.
46. Anderson J, Wealleans J, Ray J. Endodontic applications of 3D printing. *Int Endod J* 2018. 51(9):1005-1018.
47. D'haese J, van de Velde T, Komiyama A, Hultin M, De Bruyn H. Accuracy and Complications Using Computer-Designed Stereolithographic Surgical Guides for Oral Rehabilitation by Means of Dental Implants: A Review of the Literature. *Clin Implant Dent and Rel Res* 2010. 14(3), 321-335.
48. van Assche N, Vercruyssen M, Coucke W, Teughels W, Jacobs R, Quirynen M. Accuracy of computer-aided implant placement. *Clin Oral Implants Research* 2012.
49. Kühl S, Zürcher S, Mahid T, Müller-Gerbl M, FILIPPI A, Cattin P. Accuracy of full guided vs. half-guided implant surgery. *Clin Oral Implants Res.* 2013;24(7):763-9
50. Hultin M, Svensson KG, Trulsson M. Clinical advantages of computer-guided implant replacement: a systematic review. *Clin Oral Implants Research* 2012.
51. Sicilia A, Botticelli D. Computer-guided implant therapy and soft- and hard-tissue aspects. The third EAO Consensus Conference 2012. *Clin Oral Implants Research* 2012.

52. Garcia-Hammaker S, George FM. Use of a surgical template for minimally invasive second-stage surgery: A dental technique. *J Prosthet Dent* 2018. S0022-3913(18)30351-2.
53. Tan PLB, Layton DM, Wise SL. In vitro comparison of guided versus freehand implant placement: use of a new combined TRIOS surface scanning, Implant Studio, CBCT, and stereolithographic virtually planned and guided technique. *Int J Comput Dent* 2018;21(2):87-95.
54. Tallarico M, Esposito M, Whanari E, Caneva M, Meloni SM. Computer-guided vs freehand placement of immediately loaded dental implants: 5-year postloading results of a randomized controlled trial. *Eur J Oral Implantol* 2018;11(2):203-213.
55. Seo C, Juodzbaly G. Accuracy of Guided Surgery via Stereolithographic Mucosa-Supported Surgical Guide in Implant Surgery for Edentulous Patient: a Systematic Review. *J Oral Maxillofac Res* 2018. 31;9(1):e1.
56. Kowalski BJ, Manos M, Levi M, “Ambrose” d’Ambrosia J. Accuracy of guided osteotomy using dental implant treatment-planning software in combination with an optical scan of a dental cast. *POSEIDO Journal* 2014;2(4)
57. Cassetta M, Di Mambro A, Giansanti M, Stefanelli LV, Cavallini C. The intrinsic error of a stereolithographic surgical template in implant guided surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2012. 42:264-275.
58. Bronnec F, Machtou P, Martin D. Évaluation préopératoire de la difficulté en endodontie. *L’information dentaire* 2009. :1953-59. [Text in french]
59. Lang H, Korkmaz Y, Schneider K, Raab W H-M. Impact of endodontic treatments on the rigidity of the root. *J Dent res* 2006;85:364-8
60. Krishan R, Paqué F, Ossareh A, Kishen A, Dao T, Friedman S. Impacts of conservative endodontic cavity on root canal instrumentation efficacy and resistance to fracture assessed in incisors, premolars, and molars. *J Endod* 2014;40:1160-6
61. G. Plotino, NM. Grande, A. Isufi, P. Ioppolo, E. Pedullà, R. Bedini, G. Gambarini, L. Testarelli. Fracture Strength of Endodontically Treated Teeth with Different Access Cavity Designs. *JOE* 2017; 43(6).
62. Kwon HB, Park YS, Han JS. Augmented reality in dentistry: a current perspective. *Acta Odontologica Scandinavica* 2018
63. Byun C, Kim C, Cho S, Baek SH, Kim G, Kim SG, Kim SY. Endodontic Treatment of an Anomalous Anterior Tooth with the Aid of a 3-dimensional Printed Physical Tooth Model. *AAE* 2015.

64. Zubbizarreta Macho A, Ferreiroa A, Rico-Romano C, Alonso-Ezpeleta LO, Menna-Álvarez J. Diagnosis and endodontic treatment of type II dens invaginatus by using cone-beam computed tomography and splint guides for cavity access – A case report. *JADA* 2015:146(4)
65. Mena-Álvarez J, Rico-Romano C, Lobo-Galindo AB, Zubizarreta-Macho A. Endodontic treatment of dens evaginatus by performing a splint guided access cavity. *J Esthet Restor Dent* 2017:1-7
66. Kfir A, Telishevsky-Strauss Y, Leitner A, Metzger Z. The diagnosis and conservative treatment of a complex type 3 dens invaginatus using cone beam computed tomography (CBCT) and 3D plastic models. *IEJ* 2013. 46:275-288.
67. Byun C, Kim C, Cho S, Baek SH, Kim G, Kim SG, Kim SY. Endodontic Treatment of an Anomalous Anterior Tooth with the Aid of a 3-dimensional Printed Physical Tooth Model. *AAE* 2015.
68. Zubbizarreta Macho A, Ferreiroa A, Rico-Romano C, Alonso-Ezpeleta LO, Menna-Álvarez J. Diagnosis and endodontic treatment of type II dens invaginatus by using cone-beam computed tomography and splint guides for cavity access – A case report. *JADA* 2015:146(4)
69. CM. Giacomino, JJ. Ray, JA. Wealleans. Targeted Endodontic Microsurgery: A Novel Approach to Anatomically Challenging Scenarios Using 3-dimensional-printed Guides and Trephine Burs – A Report of 3 Cases. *JOE* 2018. 1-7.
70. Pinsky HM, Champleboux G, Sament DP. Periapical surgery using CAD/CAM guidance: preclinical results. *J Endod* 2007;33(2):148-51.
71. Sangzhu Y, Shiyong Z, Weidong W, Qianzhou J, Xuechao Y. A novel method for periapical microsurgery with the aid of 3D technology: a case report. *BMC Oral Health* 2018. 18:85.
72. Cvek M, Granath L, Lundberg M. Failures and healing in endodontically treated non-vital anterior teeth with posttraumatically reduced pulpal lumen. *Acta Odontol Scand* 1982;40:223-8
73. Buchgreitz J, Buchgreitz M, Bjørndal L. Guided root canal preparation using cone-beam computed tomography and optical surface scans – an observational study of pulp space obliteration and drill path depth in 50 patients. *Int Endod J.* 2018

MICROENDODONTIE GUIDÉE : ÉTUDE DE FAISABILITÉ MONTRANT L'ÉCONOMIE TISSULAIRE POTENTIELLE SUR LES CAVITÉS D'ACCÈS DES INCISIVES CALCIFIÉES

RÉSUMÉ EN FRANÇAIS :

INTRODUCTION : La gestion des calcifications pulpaire est un challenge en endodontie. La microendodontie guidée pourrait améliorer le succès de ces thérapeutiques. Le but de cette étude de faisabilité *ex-vivo* est d'évaluer la perte tissulaire des trépanations au cours de microendodonties guidées sur dents à endodonte calcifié. **MATÉRIEL ET MÉTHODES :** Un simulateur d'arcade est réalisé avec l'incorporation de dents à pulpe calcifiée. Une planification endodontique, à l'image d'une planification implantaire, est réalisée. Un guide est dessiné puis imprimé, une douille lui est incorporée. Les trépanations guidées sont réalisées dans un simulateur clinique. Des radiographies de contrôle post-opératoire sont réalisées. **RÉSULTATS :** Le succès de perméabilisation canalaire sans complication est de 75%. Après gestion des complications, aucune dent ne s'avère perdue. **DISCUSSION :** Cette thérapeutique semble prometteuse mais doit être encore étudiée et améliorée.

TITLE IN ENGLISH:

**MICROGUIDED ENDODONTICS: A FEASIBILITY STUDY SHOWING THE POTENTIAL TISSU
ECONOMY ON ACCESS CAVITY FOR CALCIFIED INCISORS**

ABSTRACT IN ENGLISH:

INTRODUCTION: Pulp canal calcification management is a challenge in endodontics. Micro-guided endodontics seems to accurate the success of those therapeutics. The purpose of this feasibility study is to evaluate, *ex-vivo*, the loss of tissue during micro-guided endodontics treatment on tooth with pulp canal calcification. **MATERIALS AND METHODS:** A dental arch simulator is made with pulp canal calcification teeth. An endodontic planning, similar to implant planning, is realized. A template is designed and printed, a sleeve is incorporated. Guided trepanations are realized in clinical simulator. Postoperative control radiographies are realized. **RESULTS:** Pulp canal permeabilization success without complication is to 75%. After complication management, no tooth was lost. **DISCUSSION:** This therapy seems to be promising but it needs more investigation to be improve.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : CHIRURGIE DENTAIRE

MOTS-CLÉS : calcification pulpaire, guide, impression 3D, microendodontie, trépanation, CBCT, *ex-vivo*

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR :

Université Toulouse III – Paul Sabatier
Faculté de Chirurgie Dentaire, 3 chemin des Maraîchers, 31062 Toulouse Cedex 09

DIRECTEUR DE THÈSE : Dr. Loïc MOURLAN

CO-DIRECTEUR DE THÈSE : Dr. Antoine GALIBOURG