



**HAL**  
open science

# Endodontie guidée par guide statique à appui dentaire : intérêts, méthodes, limites

Alexandre Bonnefond

► **To cite this version:**

Alexandre Bonnefond. Endodontie guidée par guide statique à appui dentaire : intérêts, méthodes, limites. Chirurgie. 2022. dumas-03715757

**HAL Id: dumas-03715757**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03715757v1>**

Submitted on 6 Jul 2022

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

**THESE**

***POUR OBTENIR LE DIPLOME D'ETAT  
DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE***

Présentée et publiquement soutenue devant

Aix-Marseille Université

(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales

(Doyen : Monsieur le Professeur Georges LEONETTI)

**Ecole de Médecine Dentaire**

(Directeur : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

***Endodontie guidée par guide statique à appui dentaire :  
intérêts, méthodes, limites***

Présentée par

**BONNEFOND Alexandre**

Né(e) le 11 décembre 1993

A Marseille

Thèse soutenue le **Lundi 07 février 2022**

Devant le jury composé de

Président : Professeur BUKIET Frédéric

Assesseurs : Docteur POMMEL Ludovic

Docteur GIRAUD Thomas

Docteur CHIARINI Thomas

Invité : Docteur BORDONE Antonietta



**THESE**

***POUR OBTENIR LE DIPLOME D'ETAT  
DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE***

Présentée et publiquement soutenue devant

Aix-Marseille Université  
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales  
(Doyen : Monsieur le Professeur Georges LEONETTI)

**Ecole de Médecine Dentaire**  
(Directeur : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

***Endodontie guidée par guide statique à appui dentaire :  
intérêts, méthodes, limites***

Présentée par

**BONNEFOND Alexandre**

Né(e) le 11 décembre 1993  
A Marseille

Thèse soutenue le **Lundi 07 février 2022**

Devant le jury composé de

Président : Professeur BUKIET Frédéric

Assesseurs : Docteur POMMEL Ludovic

Docteur GIRAUD Thomas

Docteur CHIARINI Thomas

Invité : Docteur BORDONE Antonietta

## ADMINISTRATION

<b>Doyens Honoraires</b>	Professeur	Raymond SANGIUOLO <sup>+</sup>	
	Professeur	Henry ZATTARA	
	Professeur	André SALVADORI	
	Professeur	Jacques DEJOU	
<b>Directeur</b>	Professeur	Bruno FOTI	
<b>Directeurs adjoints</b>	Professeur	Michel RUQUET	
	Professeur	Anne RASKIN	
<b>Chargés de missions</b>			
	Formation Initiale	Professeur	Michel RUQUET
	Recherche	Professeur	Anne RASKIN
Formation Continue	Professeur	Frédéric BUKIET	
Relations Internationales Internat et Diplômes d'études spécialisées Affaires générales	Professeur	Hervé TASSERY	
	Professeur	Virginie MONNET-CORTI	
	Docteur	Patrick TAVITIAN	
<b>Responsable Administrative</b>	Madame	Katia LEONI	

### PROMOTIONS :

2019 Raymond SANGIUOLO

2020 Gaston BERGER

2021 Joseph MIGOZZI

## LISTE DES ENSEIGNANTS

### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD**

BUKIET Frédéric (58-01)  
FOTI Bruno (58-02)  
LE GALL Michel (56-01)  
MONNET-CORTI Virginie (57-01)  
RASKIN Anne (58-01)  
RUQUET Michel (58-01)  
TARDIEU Corinne (56-01)  
TARDIVO Delphine (56-02)  
TASSERY Hervé (58-01)  
TERRER Elodie (58-01)

### **PROFESSEUR DES UNIVERSITES**

ABOUT Imad (65)

### **PROFESSEURS EMERITES**

DEJOU Jacques  
HUE Olivier

### **MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD**

ABOUDHARAM Gérard (58-01)	LAN Romain (56-02)
BANDON Daniel (56-01)	LAURENT Michel (58-01)
BELLONI Didier (57-01)	LAURENT Patrick (57-01)
BOHAR Jacques (56-01)	MAILLE Gérald (58-01)
CAMOIN Ariane (56-01)	MENSE Chloé (58-01)
CAMPANA Fabrice (57-01)	PHILIP-ALLIEZ Camille (56-01)
CATHERINE Jean-Hugues (57-01)	POMMEL Ludovic (58-01)
GAUBERT Jacques (56-01)	PRECKEL Bernard-Éric (58-01)
GIRAUD Thomas (58-01)	RÉ Jean-Philippe (58-01)
GIRAUDEAU Anne (58-01)	ROCHE-POGGI Philippe (57-01)
GUIVARC'H Maud (58-01)	STEPHAN Grégory (58-01)
JACQUOT Bruno (58-01)	TAVITIAN Patrick (58-01)
LABORDE Gilles (58-01)	TOSELLO Alain (58-01)

## MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES ASSOCIES

Angeline ANTEZACK (57-01)

BALLESTER Benoît (58-01)

BLANCHET Isabelle (58-01)

CASAZZA Estelle (58-01)

## ASSISTANTS HOSPITALIERS ET UNIVERSITAIRES

AL AZAWI Hala (56-01)

ARNIER Canelle (56-01)

BAUDINET Thomas (58-01)

BRINCAT Arthur (57-01)

BROS Agnès (56-01)

CHIARINI Thomas (58-01)

DUMAS Cathy (57-01)

DUPRAT Florence (56-01)

FAURE-BRAC Mathias (57-01)

FERRE Enzo (58-01)

FOUQUES Agathe (56-01)

LAURENT Camille (58-01)

LIOTARD Alicia (58-01)

MADENIAN Pauline (58-01)

MANSUY Charlotte (58-01)

MARCHAL Paul (58-01)

MARTIN William (56-01)

ONGHENA Tom (56-01)

PASCHEL Laura (58-01)

PILLIOL Virginie (58-01)

RAYNAUD Camille (58-01)

ROMAO Vincent (57-01)

VEILLARD Pierre (56-01)

## ASSISTANT DES UNIVERSITES ASSOCIE

GRINE Ghilès (57-01)

### Intitulés des sections CNU :

#### 56<sup>ème</sup> section : Développement, croissance et prévention

56-01 Odontologie pédiatrique et orthopédie dento-faciale

56-02 : Prévention – Epidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale

#### 57<sup>ème</sup> section : Chirurgie orale, Parodontologie, Biologie Orale

57-01 : Chirurgie orale – Parodontologie – Biologie orale

#### 58<sup>ème</sup> section : Réhabilitation orale

58-01 : Dentisterie restauratrice – Endodontie – Prothèses – Fonction-Dysfonction – Imagerie – Biomatériaux

L'auteur s'engage à respecter les droits des tiers, et notamment les droits de propriété intellectuelle. Dans l'hypothèse où la thèse comporterait des éléments protégés par un droit quelconque, l'auteur doit solliciter les autorisations nécessaires à leur utilisation, leur reproduction et leur représentation auprès du ou des titulaires des droits. L'auteur est responsable du contenu de sa thèse. Il garantit l'Université contre tout recours. Elle ne pourra en aucun cas être tenue responsable de l'atteinte aux droits d'un tiers

## **À Monsieur le Professeur Frédéric BUKIET**

*Président du Jury, Professeur des Universités – Praticien Hospitalier*

Soyez remercié de l'honneur que vous me faites en acceptant la présidence de cette thèse. Je vous remercie pour la qualité de vos enseignements théoriques et pratiques dont j'ai pu bénéficier lors de ces cinq années d'études.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de ma profonde gratitude et mon plus grand respect.



## **À Monsieur le Docteur Ludovic POMMEL**

*Directeur de thèse, Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier*

Je vous remercie sincèrement d'avoir accepté de diriger mon travail de thèse.

Votre expertise et vos connaissances ont été pour moi d'une aide précieuse tout au long de mes études et m'auront permis de mieux comprendre de nombreux aspects de la discipline d'endodontie. C'est une réelle chance que nous avons d'apprendre à vos côtés au sein de l'École de Médecine Dentaire de Marseille.

Merci de m'avoir conseillé et orienté pendant la rédaction de cette thèse qui j'espère, sera à la hauteur de vos attentes.

Veillez recevoir l'expression de mes remerciements les plus sincères et de mon plus grand respect.

## **À Monsieur le Docteur Thomas GIRAUD**

*Maitre de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier*

Je vous remercie de votre présence au sein de mon jury de thèse.

Nous avons eu l'occasion de nous côtoyer lors de ma dernière année d'études durant les vacances du jeudi matin en Odontologie Hospitalière. Cela m'aura permis de vous assister plusieurs fois pendant vos soins et je vous remercie pour la transmission de vos connaissances.

Je ne garderais que de bons souvenirs de ces moments partagés avec vous.

Veillez recevoir l'expression de mes plus sincères remerciements et de mon profond respect.

## **À Monsieur le Docteur Thomas CHIARINI**

*Assistant Hospitalier et Universitaire*

Je te remercie sincèrement d'avoir accepté de siéger dans mon jury de thèse. Je n'ai eu que très peu l'occasion de travailler à tes côtés lors de mes études au centre de soins mais cela aura été suffisant pour apprécier ta gentillesse et ta bonne humeur. Je ne doute pas que nos chemins se croiseront à nouveau en dehors du contexte universitaire.

J'espère que ce travail saura te plaire et je te prie de recevoir l'expression de ma profonde sympathie.

## **À Madame le Docteur Antonietta BORDONE**

*Invité*

Je te remercie sincèrement d'avoir accepté de faire partie de mon jury.

Je ne te remercierai jamais assez de m'avoir transmis ta passion pour l'endodontie et pour tout ce que tu m'as apporté dans ce domaine. Tous les soins pour lesquels j'ai pu t'assister ont été d'une grande aide dans ma formation. J'espère avoir l'occasion d'apprendre encore longtemps à tes côtés.

Tu as toujours su te rendre disponible pour m'aider dans la rédaction de ce mémoire.

J'ai choisi le sujet de l'endodontie guidée grâce à toi et j'espère que mon travail sera à la hauteur de tes attentes.

Je te prie de recevoir toute ma sympathie et mon plus profond respect.

## Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>I. Objectifs de l'endodontie guidée .....</b>	<b>2</b>
<b>II. Indications et applications de l'endodontie guidée .....</b>	<b>4</b>
1. L'oblitération canalaire par minéralisation.....	4
2. La dépose des tenons fibrés .....	7
3. La chirurgie apicale .....	9
4. Autres indications.....	13
<b>III. Techniques d'endodontie guidée .....</b>	<b>15</b>
1. Planification .....	15
2. Conception .....	18
3. Protocole opératoire .....	18
<b>IV. Discussion.....</b>	<b>21</b>
1. Avantages / inconvénients de l'endodontie guidée .....	21
2. Perspectives de développement .....	24
<b>Conclusion .....</b>	<b>27</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>1</b>

## Introduction

La technique Cone-Beam Computed Tomography (CBCT), ou imagerie volumétrique par faisceau conique en français, a rendu facile et accessible l'utilisation de l'imagerie 3D en odontologie. En effet, les appareils cone beam peuvent être d'une taille équivalente à celle des appareils de radiographie panoramique conventionnelle et la plupart du temps, un même appareil peut réaliser ces deux types d'imagerie. De plus, l'irradiation issue du CBCT est comparable aux autres types de radiographie pratiqués. Son utilisation au sein d'un cabinet dentaire est donc tout à fait pertinente concernant la dosimétrie aux rayons X (Figure 1).

CBCT petit champ (< 10cm)	19 – 44 $\mu$ SV
CBCT champ moyen (10 – 15cm)	28 – 265 $\mu$ SV
CBCT champ large (> 15cm)	68 – 368 $\mu$ SV
Radiographie panoramique	14 – 24 $\mu$ SV
Radiographie rétro-alvéolaire	2 – 9 $\mu$ SV

*Figure 1 : Dosimétrie des différents types de radiographie utilisés en odontologie (1)*

Dans le domaine de l'endodontie, l'utilisation du CBCT a permis d'améliorer le diagnostic et la compréhension des structures anatomiques complexes et devient de plus en plus courante (1). Cette technique permet en effet de s'affranchir de nombreuses limites des radiographies rétro-alvéolaires, notamment en ce qui concerne la superposition des structures sur les images en deux dimensions. Les données du CBCT permettent des diagnostics plus précis en ce qui concerne l'appréciation des lésions péri-apicales, de l'anatomie canalaire, des fractures radiculaires verticales, des résorptions radiculaires, des séquelles de trauma ou encore pour la planification des chirurgies apicales. Le CBCT ne doit cependant pas être un examen de routine, son utilisation se doit d'être justifiée et de respecter le principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable).

D'autres applications sont maintenant proposées à partir de l'examen CBCT initial. L'endodontie guidée en fait partie. Le but de ce mémoire est de présenter cette technique, son développement, ses indications, ses limites et ses éventuelles futures évolutions.

## I. Objectifs de l'endodontie guidée

Dans les différentes méthodes proposées, l'objectif reste le même : guider le praticien lors de la tentative d'accès aux orifices canaux.

Par exemple, lors d'un traitement endodontique, l'accès aux canaux peut être rendu difficile par plusieurs paramètres pouvant potentialiser le risque d'erreur de trajectoire. Différents essais pour faciliter cette partie du traitement ont pu être élaborés.

La première tentative publiée de guidage d'instruments en endodontie remonte à 2012 (2). Pour le traitement d'une dens invaginatus, Kfir *et al.* ont mis au point une technique de guidage de leur foret relativement sommaire, basée sur une étude d'une réplique de la dent issue des données recueillies via un CBCT (technique détaillée partie II.4).

En 2015, ces travaux ont été repris par Byun *et al.* pour le traitement endodontique d'une autre dens invaginatus (3).

Le succès rencontré par ces deux cas cliniques a ouvert la voie au développement de guides en résine pour les traitements endodontiques. Les pistes de développement s'inspirent fortement de ce qui est déjà utilisé dans la pratique courante de l'implantologie orale. En effet, le positionnement de l'implant est planifié en amont de la chirurgie via des logiciels spécifiques s'appuyant sur une imagerie 3D type CBCT. Dans certains cas, cette planification peut être complétée par un modèle 3D du maxillaire du patient issu d'une empreinte (optique ou physique). Le positionnement virtuel de l'implant donne l'axe de forage à respecter, qui est matérialisé dans le guide grâce à un cylindre métallique préfabriqué par CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) (4). Une douille métallique est insérée dans le cylindre et des forets calibrés sont utilisés au travers de cette douille pour réaliser l'ostéotomie (5) (Figure 2).

La précision des guides chirurgicaux stéréolithographiés issus d'une planification CBCT a déjà été prouvé dans le cadre de l'implantologie orale (6) (7).



Figure 2 : Exemple de guide stéréolithographié utilisé dans le cadre de l'implantologie orale (8)

Dans la pratique de l'endodontie, afin de diminuer la quantité de tissu dentaire retiré pouvant compromettre l'intégrité structurelle de la dent et augmenter le risque de perforation, une planification de l'axe de forage semble également judicieuse. Cela est particulièrement vrai pour des dents où la radiographie rétro-alvéolaire ne laisse pas apparaître le canal, ne donnant au praticien que peu d'information quant à sa position. L'oblitération radiographique complète ne signifie pas pour autant l'absence de pulpe canalaire. Dans la majorité des cas, les tissus pulpaire sont présents mais la sensibilité des radiographies conventionnelles est trop faible pour capturer leur image (9). Afin de comparer la précision entre les imageries 2D type radiographie rétro-alvéolaire et les imageries 3D type CBCT, il faut prendre en compte la quantité de données enregistrées. Nous aurons d'un côté des pixels pour une image en 2D et d'un autre côté des voxels pour une image en 3D. La représentation en deux dimensions d'une structure anatomique en trois dimensions implique la superposition des tissus adjacents qui peuvent donc réduire la visibilité (10). En termes de résolution, en pratique courante, la radiographie rétro-alvéolaire permet d'obtenir des images avec des pixels d'une dimension allant jusqu'à 75µm. Pour le CBCT, à l'heure actuelle, nous pourrions obtenir des voxels d'une dimension allant jusqu'à 150µm (11). La résolution est donc à l'avantage de la radiographie en deux dimensions. La pulpe canalaire peut cependant être la plupart du temps retrouvée sur une imagerie de type CBCT. En effet, elle offre une définition certes moins précise, mais les différentes coupes disponibles permettent de s'affranchir des superpositions et de retrouver plus facilement le canal non visible sur une image en deux dimensions. Il sera également possible de planifier l'axe nécessaire pour retrouver la lumière canalaire. Cette affirmation reste tout de même à nuancer. En fonction du type de minéralisation, et notamment en présence de fibrodentine, le canal ne pourra être retrouvé même sur une imagerie 3D.

L'objectif de la technique d'endodontie guidée est donc de guider le praticien, lors de la phase de recherche des orifices canalaires, dans une optique d'économie tissulaire et de limitation des risques de dommages iatrogènes.

Toujours dans cette optique de préservation, l'endodontie guidée peut également être utilisée pour la recherche des apex lors des traitements chirurgicaux rétrogrades.



## II. Indications et applications de l'endodontie guidée

### 1. L'oblitération canalaire par minéralisation

L'oblitération canalaire par minéralisation est dans la plupart des cas la séquelle d'un traumatisme dentaire et se développe préférentiellement dans des cas de contusion ou de subluxation (12). Elle peut également apparaître en réponse à une thérapie pulpaire invasive, à une lésion carieuse volumineuse, à des forces orthodontiques, à la présence d'abfraction ou simplement être causée par la dégénérescence pulpaire liée à l'âge (13).

La dentine joue un rôle majeur dans l'oblitération canalaire. C'est le tissu calcifié qui occupe le volume le plus important de la dent et il est situé entre l'émail et la pulpe. La dentine est sécrétée en majeure partie par les odontoblastes, mais peut être également sécrétée par des cellules appelées odontoblastes-like. Ce processus est appelé dentinogénèse. Il existe plusieurs types de dentine et il est impossible de dissocier la dentine de la pulpe.

La dentine se forme en direction centripète (de l'extérieur vers l'intérieur) par la minéralisation du substrat matriciel élaboré et secrété par les odontoblastes qui entourent la pulpe.

Le premier type de dentine est la dentine primaire. Elle est produite pendant le développement dentaire et caractérisée par la présence de canalicules dentinaires allant de la jonction amélo-dentinaire vers la pulpe. Les odontoblastes situés à la périphérie de la pulpe présentent des prolongements dans ces canalicules dentinaires.

Le second type de type de dentine est la dentine secondaire. Elle se développe après l'éruption dentaire et la formation radiculaire, et représente la continuité de la dentine primaire. On n'observe aucune différence entre les dentines primaires et secondaires si ce n'est le moment où elles sont sécrétées. La dentine secondaire est néanmoins sécrétée plus lentement mais tout au long de la vie, ce qui entraîne une diminution du volume pulpaire avec l'âge (14). Les dentines primaires et secondaires forment ce que l'on appelle la dentine physiologique.

Enfin, le dernier type de dentine est la dentine tertiaire, qui peut être qualifiée de dentine pathologique. La dentine tertiaire peut être réactionnelle : également produite par les odontoblastes mais en réaction à une agression détectée par les prolongements odontoblastiques dans le but de préserver la vitalité pulpaire. Sa sécrétion est rapide et localisée. Cette dentine réactionnelle présente des canalicules moins nombreux et moins larges.

La dentine tertiaire peut également être réparatrice. Elle est formée en réponse à une lésion pulpaire par les odontoblastes-like, dérivés des cellules souches provenant directement de la pulpe. Sa formation est stimulée par des protéines de la dentine ou des facteurs de croissance libérés à la suite de l'utilisation de certains composés employés pour réaliser un coiffage pulpaire direct (Biodentine™, MTA, hydroxyde de calcium). Cela permet la création d'un pont

dentinaire protégeant la pulpe. La formation de dentine réparatrice implique donc un processus de division et de migration des cellules souches pulpaires vers la zone enflammée. Ces cellules se différencient et synthétisent une couche de dentine atubulaire ou fibrodentine, qui isole la pulpe du milieu extérieur.

Enfin la dentine tertiaire peut être sclérotique, liée au vieillissement et aux agressions lentes de type érosion, abrasion ou attrition. Les canalicules dentinaires sont ici partiellement ou totalement oblitérés (fibrodentine), ou vides de prolongements odontoblastiques.

L'oblitération canalaire par minéralisation se caractérise donc par le dépôt de tissus durs au niveau canalaire. Son évolution peut conduire à la disparition partielle ou totale de la lumière canalaire et dans la plupart des cas, une coloration jaune de la couronne clinique apparaît.

La fréquence d'apparition est variable et ne concerne pas toutes les dents traumatisées. Andreasen *et al.* indiquent que sur une population de 637 dents ayant subi un traumatisme de type luxation, seulement 96 dents (15 %) ont présenté une dégénérescence calcique (15). D'autre part, il est intéressant de noter une étude de Robertson *et al.*, sur 82 incisives permanentes ayant subi un traumatisme (subluxation, luxation latérale, contusion, intrusion ou extrusion). Ces dents présentant une oblitération canalaire, sont suivies pendant une période moyenne de 16 ans. Des lésions péri-apicales radiographiques laissant envisager une nécrose ou une infection pulpaire sont retrouvées sur seulement 7 dents (9 %) (16).

L'apparition de lésion apicale ou de nécrose pulpaire ne sont donc pas des complications courantes de l'oblitération canalaire. Le traitement endodontique de ces dents oblitérées n'est pas systématiquement indiqué.

Il est nécessaire de préciser qu'une dent présentant une oblitération canalaire et qui relève d'un traitement endodontique, entre dans la catégorie « High Difficulty » de l'American Association of Endodontists Case Difficulty Assesment (17).

Dans leur étude sur l'origine des perforations lors d'un traitement endodontique, Kvinnsland *et al.* indiquent que 42 % des perforations recensées dans leurs travaux sont intervenues lors de la recherche des canaux en présence d'oblitération canalaire (18). Ces dents représentent un réel challenge pour le praticien. Des aides optiques semblent être des outils incontournables pour la détection de ces canaux grâce aux différences de couleur entre les types de dentine. En effet, la dentine tertiaire apparaît plus sombre, ce qui pourra guider le praticien lors de la phase de recherche des orifices canaux. Cependant, plus l'oblitération est située apicalement, plus le volume de tissus dentaires sains retiré pour y accéder sera important. Une déviance de quelques dixièmes de millimètres à l'entrée d'un canal majore le risque de perforation radiculaire et la fragilité de la dent, en particulier sur les dents pluriradiculées présentant des courbures.

L'oblitération canalaire par minéralisation apparaît alors comme l'indication idéale pour l'utilisation des techniques d'endodontie guidée. La situation et l'axe du canal pouvant être

définis à l'aide d'une imagerie 3D, il sera ainsi possible d'établir un axe de forage permettant d'y accéder de manière directe. Ceci permet de limiter au maximum le risque de perforation et d'assurer une économie tissulaire optimale.

Toutefois, si aucune trace de pulpe canalaire ne peut être retrouvée radiologiquement, l'oblitération est déclarée complète. Face à une telle situation, en l'absence de lésion, l'abstention thérapeutique reste toujours indiquée. En revanche, en présence d'une lésion, le traitement chirurgical sera privilégié. En effet, l'axe de forage permettant la réalisation du guide ne pouvant être défini avec précision, la balance bénéfices / risques donne l'avantage aux techniques chirurgicales. La potentielle présence de pulpe résiduelle dans le canal calcifié après résection apicale peut cependant rester problématique (19).

Bordone, Perez et Couvrechel (20) ont établi des recommandations concernant l'utilisation d'un guide pour le traitement endodontique en fonction des différents types d'oblitération canalaire par minéralisation (Figure 3) :

- Le type I correspond à une oblitération complète liée à la sénescence pulpaire. Nous nous retrouvons dans ce cas avec une apposition de dentine secondaire dans le canal. Ce type de traitement est décrit comme devant être référé à un praticien spécialiste, équipé d'un microscope opératoire. L'utilisation d'un guide est alors recommandée.
- Le type IIa correspond à une oblitération uniquement coronaire. Une dentine tertiaire s'est formée en réponse à une agression pulpaire. L'utilisation d'un guide endodontique est indiquée pour un acte réalisé sans microscope, et tout de même recommandé malgré l'utilisation d'instruments de grossissement.
- Le type IIb reprend les mêmes caractéristiques que le type IIa, à la différence que la lumière canalaire ne peut être retrouvée non pas dans le tiers coronaire mais dans le second tiers canalaire. L'utilisation d'un guide endodontique est indiquée avec ou sans microscope.
- Le type III correspond à une oblitération complète liée à une agression pulpaire, donc en présence de dentine tertiaire. Ce type de traitement est décrit comme devant être réalisé par un praticien spécialiste et équipé d'un microscope opératoire. L'utilisation d'un guide est indiquée pour réaliser le traitement. Si toutefois le canal n'est toujours pas trouvé à une distance de 3mm de l'apex, il est indiqué de stopper le forage et de compléter le traitement par une chirurgie apicale. La chirurgie peut éventuellement être réalisée en première intention, sans traitement orthograde.





				
Type	<b>I</b>	<b>II a</b>	<b>II b</b>	<b>III</b>
Radiology	Complete Obliteration	Coronal Oblitération	Mild Oblitération	Complete Obliteration
Histology	Secondary dentin	Tertiary dentin	Tertiary dentin	Tertiary dentin
Indication with microscope	GE Recommended	GE Recommended	GE	GE at 3mm from the apex and/or Endodontic surgery
Indication without microscope	Referred to a Specialist	GE	GE	Referred to a Specialist

Figure 3 : Recommandations concernant l'utilisation d'un guide endodontique pour les différents types d'oblitération canalaire par minéralisation (20)

## 2. La dépose des tenons fibrés

La présence de tenons fibrés intra-canaux constitue un obstacle pour le retraitement endodontique. Ces matériaux tendent à être de plus en plus utilisés du fait de leur module d'élasticité proche de celui de la dentine et pour leurs qualités optiques. En cas de retraitement, l'adhésion intrinsèque entre le tenon fibré, le composite et les parois radiculaires nécessite la fragmentation du matériau au sein d'une zone anatomique où l'accès visuel est difficile.

De manière classique, la dépose d'un tenon fibré est réalisée en le forant directement. Cependant, si l'axe du tenon n'est pas parfaitement respecté, cette méthode peut rapidement mener à une perte excessive de dentine, pouvant aller jusqu'à la perforation radiculaire ou à la fragilisation de la dent ; ce qui aura tendance à augmenter le risque de fracture radiculaire (21).

Une autre méthode consiste à utiliser des ultrasons pour détruire le tenon fibré. Des risques de surchauffe et de fêlure radiculaire ont été mis en évidence lors de l'utilisation d'ultrasons et cette méthode est significativement influencée par l'expérience de l'opérateur (22).

Haupt *et al.* décrivent d'ailleurs qu'aucune méthode de dépose des tenons fibrés ne présente de résultats favorables dans tous les paramètres qu'ils ont évalué ; à savoir la quantité de matériau résiduel, la perte de dentine, le temps de travail et les erreurs de procédures. Ils décrivent également qu'il existe un grand risque de perforation et de déviation d'axe lors de la dépose de ces tenons (23).

Plusieurs auteurs se sont donc penchés sur l'utilisation des guides endodontiques pour la dépose des tenons fibrés, afin de rendre cet acte plus prédictible.

C'est notamment le cas de Perez *et al.*, qui ont présenté en 2020 l'utilisation d'un guide pour la dépose d'un tenon en fibre de verre situé dans le canal palatin d'une première molaire maxillaire (24). Le tenon en fibre de verre étant peu radio opaque, la trajectoire de forage est facilement objectivable sur une imagerie CBCT (Figure 4). Une fois le matériau d'obturation endodontique atteint, les résidus du matériau composite sont retirés avec des inserts ultrasonores et le retraitement endodontique peut ensuite être terminé. L'utilisation d'inserts ultrasonores nous renvoie cependant aux risques décrits précédemment, à savoir la surchauffe et l'apparition de fêlures radiculaires.

L'utilisation d'un foret de faible diamètre (0,75mm) ainsi que la détermination précise de l'axe et de la longueur du tenon permettent une économie tissulaire optimale.

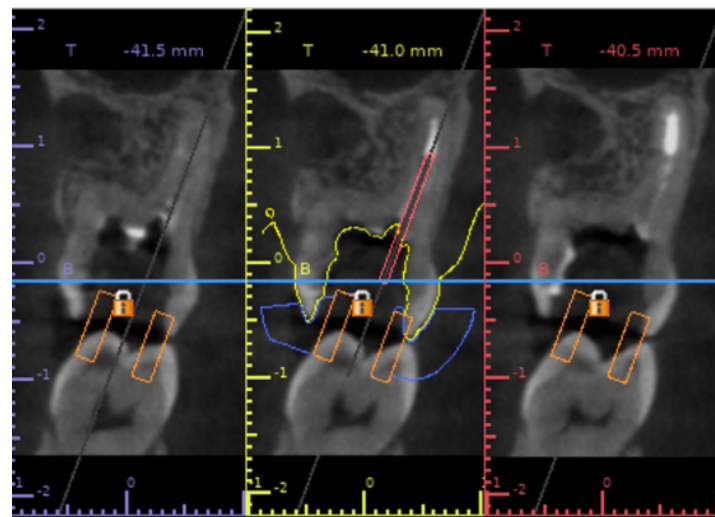


Figure 4 : Coupes CBCT permettant la visualisation du tenon fibré et la planification de l'axe de forage(24)

Une méthode similaire, avec cependant un diamètre de foret supérieur (1,3mm) permettant de coïncider avec le diamètre du tenon présent, a été décrite par Maia *et al.* (25). Le résultat de cette utilisation d'un guide est également satisfaisant. Cependant, un tel diamètre de foret ne laisse place à aucune marge d'erreur, et plus particulièrement dans les racines palatines qui ont tendance à être courbées en direction vestibulaire. La mesure préalable du diamètre de la racine sur le CBCT est primordiale pour confirmer l'utilisation de tels diamètres.

Schwindling *et al.* ont quant à eux décrit une méthode globalement similaire mais utilisant un foret de diamètre encore plus important (2,2mm) (26). Ce diamètre est utilisé afin de préparer dans le même temps que la dépose du tenon fibré, le logement pour une future restauration corono-radiculaire coulée.

L'utilisation d'un guide endodontique pour la dépose des tenons en fibre de verre apparaît donc comme très prometteuse ; le diamètre du foret pouvant être déterminé en fonction du

diamètre du tenon ainsi que du diamètre radiculaire. Les risques de perforation radiculaire ou de déviation d'axe semblent grandement diminués, alors que l'économie tissulaire est majorée.

### 3. La chirurgie apicale

La chirurgie apicale est une technique chirurgicale qui permet, par un lambeau muco-périosté, l'exérèse du tissu inflammatoire, la résection de l'apex ou la mise à plat de la zone apicale, et le scellement apical du système canalaire (27).

Cette technique est employée lorsqu'un traitement orthograde conventionnel ne peut être pratiqué ou qu'il n'a pas permis de solutionner la pathologie apicale. En effet, des bactéries peuvent demeurer dans les ramifications apicales, les rendant inaccessibles à la désinfection induite par un traitement conventionnel (28). D'autre part, la présence d'une lésion péri-apicale kystique ou d'un corps étranger péri-apical (matériau d'obturation, instrument fracturé, etc...) peut compromettre la guérison (29). Le traitement chirurgical permet alors le retrait de la lésion ou du corps étranger et le nettoyage du site infecté, ce qui a pour effet de potentialiser les chances de guérison.

L'utilisation d'une imagerie CBCT en chirurgie endodontique permet au praticien de visualiser en trois dimensions l'anatomie radiculaire, les canaux non traités et les différentes structures anatomiques voisines.

L'accès à la zone apicale nécessite l'élévation d'un lambeau de pleine épaisseur et l'écartement de ces tissus mous est généralement considéré comme étant le rôle de l'assistant opératoire (30). La rétraction efficace et atraumatique du lambeau est essentielle. En effet, un bon accès chirurgical et une manipulation précautionneuse du lambeau améliore l'efficacité du traitement (31) et la guérison des tissus mous (32).

Partant de ce constat, Patel *et al.* (33) ont mis au point en une nouvelle méthode permettant la rétraction des tissus mous lors d'une chirurgie endodontique à l'aide d'un élément imprimé en 3D.

Un modèle 3D de la zone d'intervention issu du CBCT est imprimée (Figure 5a). La position de la lésion est notée sur le modèle comme point de référence pour la conception de l'écarteur. Ce dernier est dans un premier temps modélisé physiquement avec de la cire sur le modèle imprimé (Figure 5b), puis son design est reproduit et corrigé numériquement (Figure 5c, Figure 5d). L'écarteur est ensuite imprimé en 3D et essayé sur le modèle anatomique 3D (Figure 5e). Lors de la chirurgie, une fois le lambeau muco-périosté réalisé, l'écarteur est positionné sur les bords libres des dents concernées et permet de maintenir l'écartement du lambeau (Figure 5f).

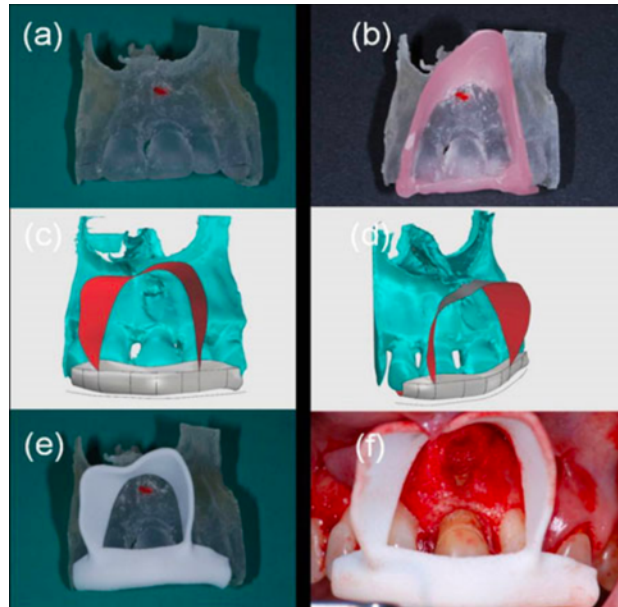


Figure 5 : Élément imprimé en 3D permettant la rétraction des tissus mous lors d'une chirurgie endodontique (33)

Cet élément sert donc uniquement d'écarteur et n'a pas pour vocation d'être un guide chirurgical. Cependant, d'autres méthodes ont été développées afin d'assurer ces deux rôles : permettre un écartement atraumatique du lambeau et guider le praticien lors de l'acte chirurgical.

En effet, une des difficultés de la chirurgie apicale réside dans la réalisation et la localisation de l'ostéotomie. Pour la planification chirurgicale, il semble nécessaire de définir précisément la position et l'anatomie radulaire de la dent concernée ainsi que celle des dents adjacentes, la taille de la lésion ainsi que la présence éventuelle de trajet nerveux. Cette planification paraît être très approximative en se basant uniquement sur une imagerie 2D telle qu'une radiographie rétro-alvéolaire, car moins d'éléments anatomiques peuvent être descellés et la taille de la zone infectée est généralement seulement estimée (34).

Il existe une relation entre la taille de l'ostéotomie et le temps de cicatrisation osseuse : plus l'ostéotomie est petite, plus la cicatrisation sera rapide (-5mm = 6,4 mois ; 6-10mm = 7,25 mois ; +10mm = 11 mois) (35). Une approche minimalement invasive semble donc intéressante, tout en gardant à l'esprit que la taille de l'ostéotomie est déterminée par celle de la lésion et les impératifs de curetage. En effet, cela représente une étape essentielle du traitement chirurgical. Une ostéotomie trop faible imposera plus de temps pour le curetage et son contrôle ne sera pas efficace, ce qui va influencer les suites post-opératoires et la cicatrisation.

La première étude concernant l'utilisation de CFAO en chirurgie endodontique date de 2007 (36). Elle compare, in-vitro, l'écart entre la position de l'ostéotomie réalisée et celle planifiée à l'aide d'une imagerie CBCT, avec et sans guide (Figure 6). Les résultats montrent une

augmentation significative de la précision grâce au guide (écart moyen de 0,79mm avec guide contre 2,27mm sans).

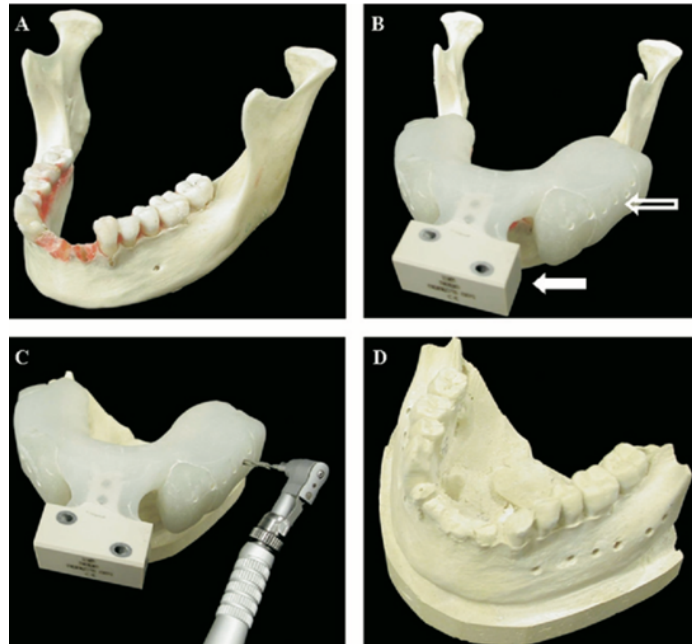


Figure 6 : Première ébauche de guide chirurgical endodontique utilisé in-vitro pour pointer la zone apicale afin de réaliser l'ostéotomie (36)

À partir de ce modèle, plusieurs méthodes ont pu être mises au point :

- Le guide peut être uniquement utilisé pour marquer à l'aide d'une fraise la position de l'apex (37) (Figure 7A, Figure 7B). L'ostéotomie est alors réalisée avec ce premier point d'impact comme référence, la suite de la chirurgie est réalisée à main levée (Figure 7C, Figure 7D).

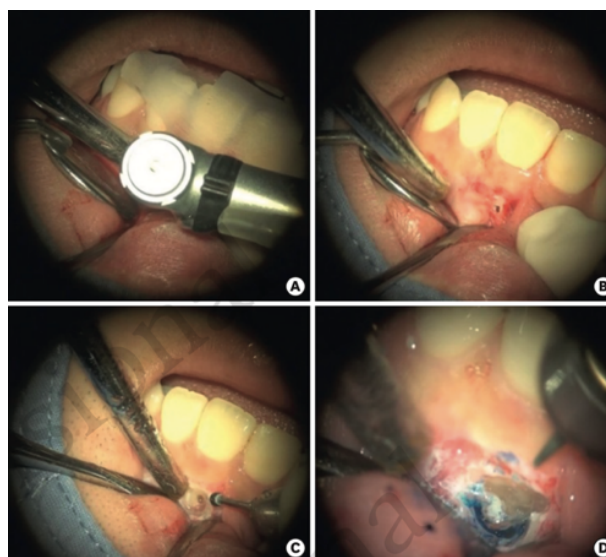


Figure 7 : Guide chirurgical endodontique permettant de pointer la position de la zone apicale (37)



- Le guide peut permettre de visualiser la position de l'apex afin de réaliser un lambeau localisé uniquement à cet endroit. L'ostéotomie est ensuite réalisée à l'aide du guide et la résection apicale à main levée (38) (Figure 8).

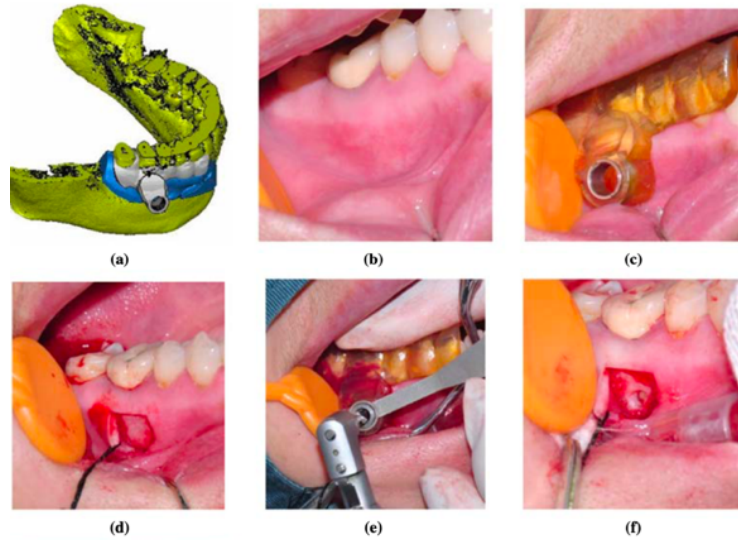


Figure 8 : Guide chirurgical endodontique pour la réalisation d'un lambeau localisé et de l'ostéotomie (38)

- Une autre méthode permet de réaliser l'ostéotomie ainsi que la résection apicale en une seule étape, à l'aide du guide et d'un trépan (39) (Figure 9).



Figure 9 : Réalisation de l'ostéotomie et de la résection apicale en une seule étape, à l'aide d'un guide et d'un trépan (39)

- Enfin, la chirurgie peut être pratiquée en combinant ces différentes étapes (par exemple ostéotomie au trépan puis résection apicale à main levée) (Figure 10).

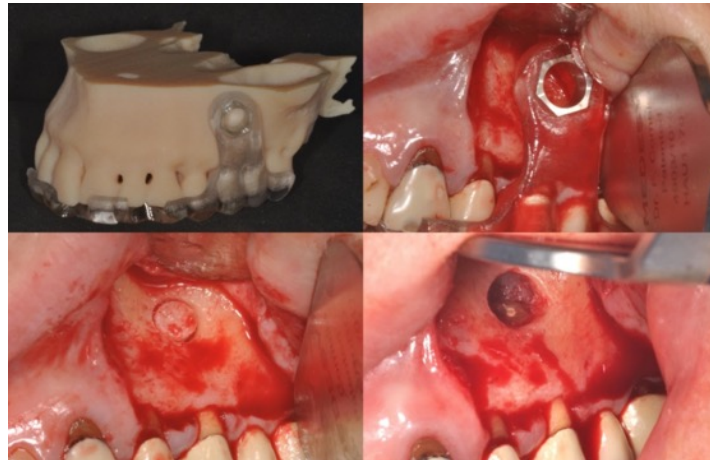


Figure 10 : Guide chirurgical endodontique pour réalisation de l'ostéotomie à l'aide d'un trépan – Courtoisie Dr Antonietta Bordone

Pour Strbac *et al.*, les avantages de l'endodontie chirurgicale guidée sont : une durée opératoire raccourcie, une précision améliorée et une gêne post-opératoire réduite (40).

#### 4. Autres indications

D'autres applications à l'endodontie guidée peuvent être envisagées. En effet, le premier article publié traitant de guide instrumentaux en endodontie avait pour sujet le traitement d'une dens invaginatus (2). Pour ce traitement, une réplique 3D de la dent a été réalisée en résine transparente. En se basant sur les données fournies par un CBCT, les images obtenues sont converties en un fichier STL qui est ensuite imprimé en 3D par une technique de stéréolithographie (Figure 11A, Figure 11B). Cela a permis au praticien d'analyser l'anatomie complexe de la dent et de choisir l'approche thérapeutique optimale afin de traiter uniquement l'invagination. Cette méthode a mis en évidence que le point de pénétration et la direction du forage étaient des éléments cruciaux pour la préservation de la vitalité pulpaire. Un second modèle en résine opaque a alors été réalisé afin de laisser le praticien s'exercer à la technique de traitement retenue. Une fois l'axe correctement déterminé, un bloc de résine a été modelé autour du foret puis positionné en bouche afin de conserver avec certitude l'axe de forage utilisé sur le modèle en résine (Figure 11C, Figure 11D).

Quelques années après, ces travaux ont été repris avec succès par Byun *et al.* pour le traitement endodontique d'une autre dens invaginatus (3).

Cependant, aucune autre étude ne fait état du traitement de dens invaginatus avec des systèmes de guidage plus élaborés, tel que décrit pour les autres indications.

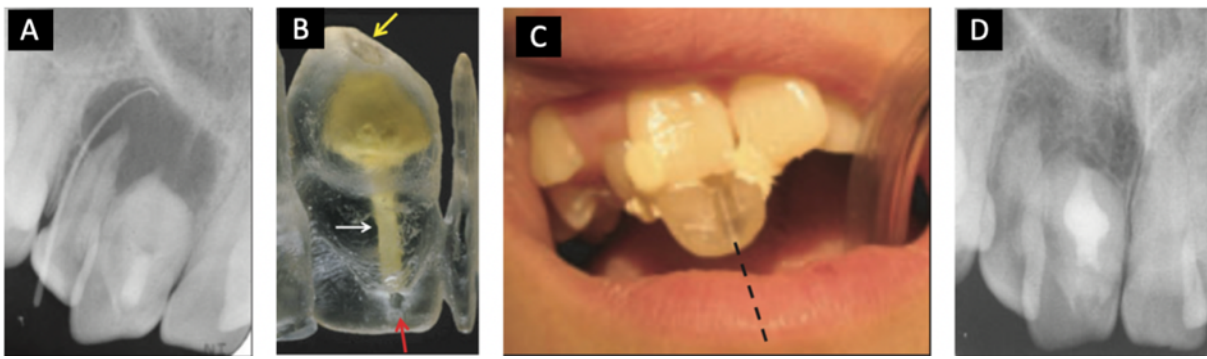


Figure 11 : Élaboration d'un système de guidage pour le traitement d'une dens invaginatus (2)

D'autres indications, comme la dépose d'instruments fracturés ou la réalisation de cavités d'accès mini-invasives pourraient être imaginées, mais trop peu de références bibliographiques ont été recensées afin de les évoquer dans ce mémoire.

### III. Techniques d'endodontie guidée

#### 1. Planification

La planification du guide endodontique nécessite deux éléments distincts. D'un côté une imagerie CBCT de l'arcade dentaire concernée, d'un autre côté une réplique numérique de cette arcade dentaire.

Les fichiers d'images 3D issues du CBCT sont exportés en tant que fichier « Digital Imaging and Communications in Medicine » (DICOM). Le format DICOM facilite le transfert d'images médicales et de données associées entre des appareils informatiques construits par divers fabricants et fonctionnant sur différentes plates-formes (41).

La réplique numérique de l'arcade dentaire du patient peut être obtenue via un scanner optique intra-oral ou via le scan d'un modèle en plâtre issu d'une empreinte physique. Dans ce cas, une empreinte en silicone, plus précise, sera préférée à une empreinte réalisée en alginate. Le fichier obtenu est enregistré sous un format « Standard Tessellation Language » (STL).

Le premier protocole de planification en endodontie guidée a été proposé par van der Meer *et al.* en 2016 (42) (Figure 12). Il est décrit comme suit :

Un CBCT petit champ du maxillaire ou de la mandibule est réalisé, en fonction de la dent à traiter. Le patient doit être légèrement en désocclusion afin d'être sûr que les dents maxillaires et mandibulaires soient bien séparées sur le fichier ainsi obtenu. La résolution des voxels est de 300 $\mu$ m. Ces paramètres sont choisis pour obtenir l'irradiation du patient la plus faible possible, tout en conservant une image utilisable pour la planification. Le CBCT est converti en un modèle permettant de différencier os, dent et pulpe grâce au logiciel Devide. En plus de cela, une empreinte optique des maxillaires du patient est réalisée. Les deux modèles 3D obtenus (CBCT + empreinte) sont alignés via le logiciel GOM inspect.

Grâce à un logiciel de planification implantaire (3ds Max), un cylindre virtuel est créé en suivant l'alignement du centre du canal résiduel et le centre de la face palatine de la couronne clinique. Autour de ce cylindre, un second cylindre d'un diamètre de 2mm plus large que le cylindre précédant est réalisé en dupliquant et agrandissant le cylindre central. Ce cylindre délimite la zone de sécurité selon laquelle le forage peut être réalisé sans crainte.

Un troisième cylindre d'un diamètre égal au foret utilisé est réalisé. Ce dernier est utilisé pour créer l'espace de guidage du foret dans la douille métallique. Il est alors aligné avec le premier cylindre.

En se basant sur cette planification, un guide chirurgical est créé par le logiciel. Ce guide utilise les dents comme fixation permettant un appui anatomique stable et s'étend de la première prémolaire gauche à la première prémolaire droite. Il s'adapte aux dents du patient en

augmentant le volume des dents du modèle 3D de 0,1mm, ce qui permet de compenser la rétraction de polymérisation liée à l'impression 3D.

Un trou de 3mm de diamètre est réalisé dans le guide afin d'y placer une douille métallique d'un diamètre interne de 2,40mm. Cette douille métallique permet de guider le foret et évite l'échauffement du guide.

La distance entre le sommet du guide et le début du canal est mesurée et noté dans le dossier patient. La longueur de travail est déterminée sur l'imagerie 3D.

Le guide chirurgical digital est exporté en tant que fichier STL et transféré vers une imprimante 3D afin de le transformer en un modèle physique.

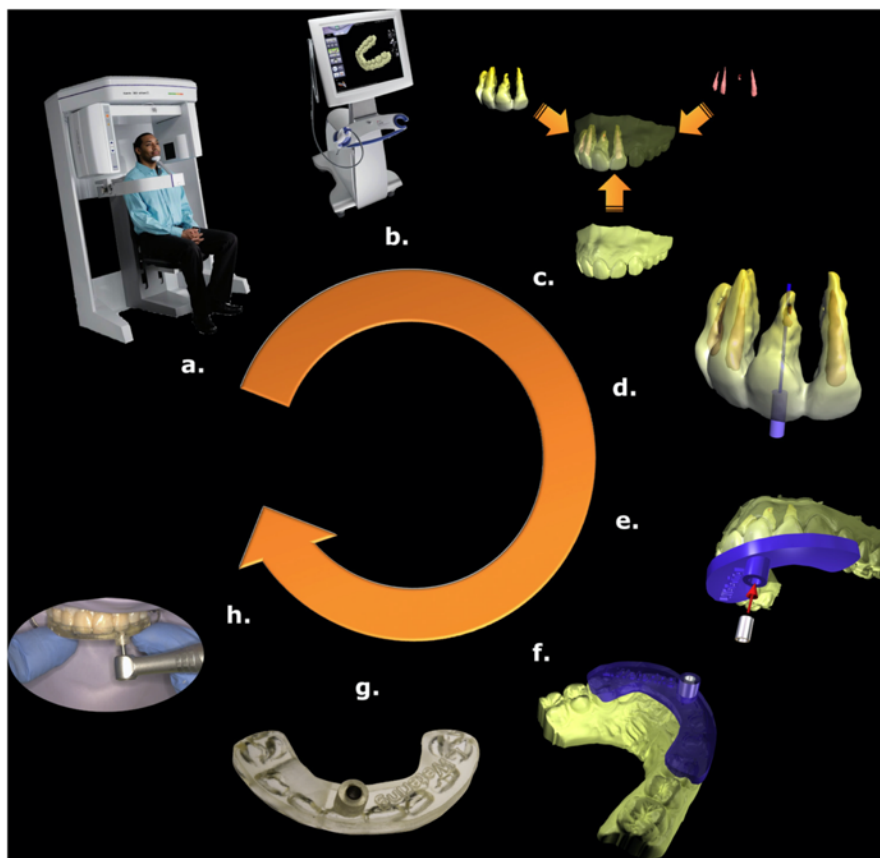


Figure 12 : Résumé des différentes étapes du premier protocole de planification du guide endodontique proposé par van der Meer et al. (42)

La complexité de ce protocole réside dans le fait qu'il est nécessaire d'utiliser plusieurs logiciels pour en réaliser les différentes étapes.

Ce protocole a rapidement été simplifié par Krastl *et al.* qui utilisent un seul logiciel pour la planification (43). Le CBCT est ici réalisé avec une résolution de 80µm, qui est bien plus précise et plus adapté à la localisation du canal. Les fichiers issus du CBCT ainsi que de l'empreinte numérique sont directement téléchargés dans un logiciel de planification implantaire (coDiagnostiX™). La superposition des fichiers est réalisée en se basant sur les dents. En effet,

elles sont distinguables de manière précise à la fois sur le CBCT et sur l’empreinte numérique. L’empreinte et le CBCT du maxillaire complet permettent d’avoir un maximum de points de repère.

Le foret est ici matérialisé non pas par un cylindre 3D mais par un implant dont les dimensions ont été paramétrées en suivant les dimensions du foret (longueur totale = 37mm, partie travaillante = 18,5mm, diamètre = 1,5mm). Il est donc nécessaire pour cette étape d’utiliser un logiciel de planification implantaire qui autorise l’utilisateur à modifier de façon libre toutes les dimensions de l’implant. L’axe du foret est ensuite angulé de telle sorte que la projection de sa pointe atteigne l’apex radiographique de la dent concernée, et se superpose avec le canal résiduel. Il est intéressant de noter ici que l’axe du foret empiète sur le bord libre, comme ceci est préconisé sans utilisation du guide (Figure 13).

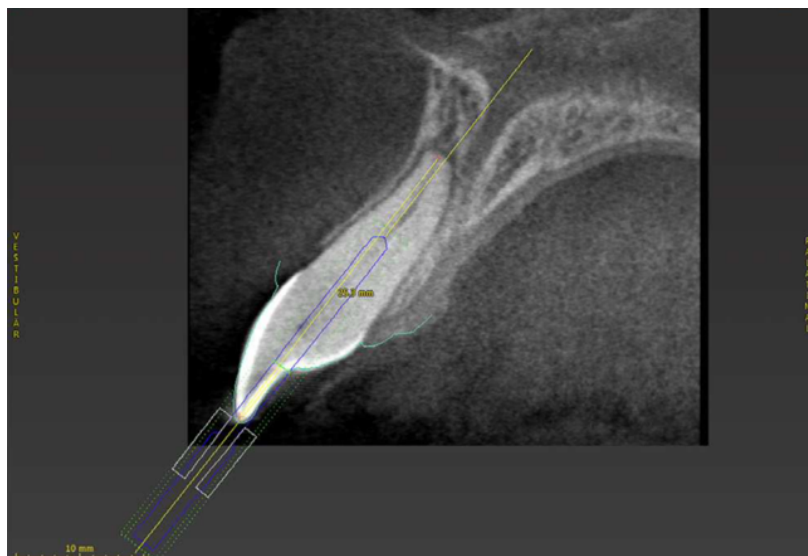


Figure 13 : Illustration de la planification de l'axe de forage [43]

Le guide est ensuite conçu toujours grâce au même logiciel et la douille métallique servant à guider le foret est paramétrée manuellement pour s’adapter au foret utilisé (diamètre externe = 2,8mm, diamètre interne = 1,5mm, longueur = 6mm). La douille est alors intégrée dans le guide virtuel. Un fichier STL est ainsi exporté (Figure 14).

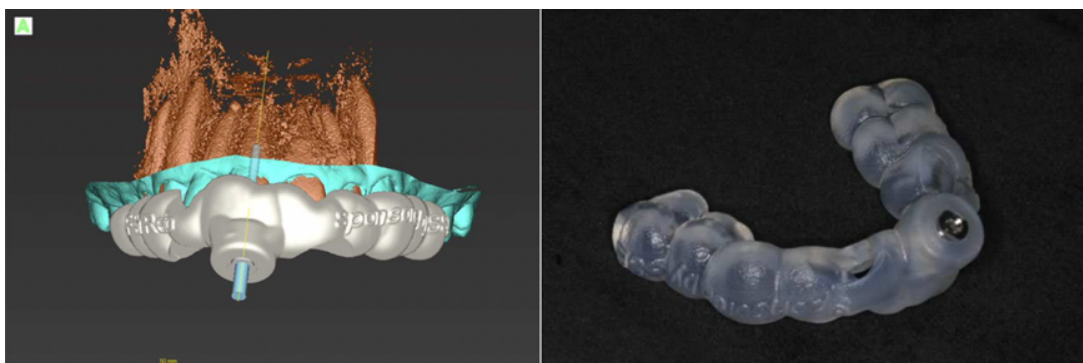


Figure 14 : Guide endodontique virtuel issu de la planification et guide endodontique physique après impression 3D [43]

À l'heure actuelle, il n'existe pas de logiciel de planification qui soit spécifique à l'endodontie. Les différents logiciels de planification sont conçus pour l'implantologie orale. Il faut alors s'assurer que le logiciel utilisé permette de paramétrer manuellement les dimensions de l'implant. C'est en configurant les dimensions de l'implant sur la base des dimensions du foret utilisé que la planification en endodontie sera possible.

## 2. Conception

La conception du guide utilise le procédé de stéréolithographie. Plus connu sous le nom de SLA (StereoLithograph Apparatus), cette méthode utilise le principe de photopolymérisation pour fabriquer des modèles 3D à partir d'une résine sensible aux rayons UV (44). Celle-ci est solidifiée par le passage d'un laser couche après couche. Les imprimantes 3D SLA sont caractérisées par leur matériau d'impression liquide et par la présence d'un capot de protection anti-UV (en général de couleur orange, vert, rouge ou jaune). Elles offrent un volume de production relativement restreint en comparaison à d'autres technologies d'impression. Comme pour toute technique d'impression 3D, un fichier numérique est nécessaire. Ici, le fichier numérique correspond à la modélisation 3D du guide issue de la planification décrite précédemment. Au format STL, ce type de fichier est exploitable pour réaliser une impression 3D (7).

Le fichier est alors transmis à la machine, où un second logiciel (appelé slicer) réalise une découpe du modèle en fines couches d'impression d'une épaisseur fixe. Une fois le fichier découpé, les instructions sont alors envoyées à l'imprimante 3D. Le faisceau laser balaie la surface de la résine liquide selon le modèle 3D numérique fourni à l'imprimante. Une fois la première couche de matériau solidifiée, la plate-forme descend d'un niveau, correspondant à l'épaisseur d'une couche d'impression, et une nouvelle section est alors solidifiée. Il y a autant de cycles d'impression que de couches nécessaires à l'obtention du volume complet de la pièce.

La douille métallique, qui sera intégrée dans le guide, est quant à elle réalisée par fraisage à l'aide d'une machine CNC (Commande Numérique par Calculateur). Sa bonne adaptation dans le guide sera à vérifier avant le début du traitement.

## 3. Protocole opératoire

Le protocole clinique d'endodontie guidée le plus récent, utilisant un guide statique à appui dentaire, a été proposé en 2020 par Bordone et Couvrechel (45). Les étapes de planification sont réalisées à l'aide du logiciel BlueSky Plan et sont similaires à celles proposées par Krastl *et al.* (43) (Figure 15A, Figure 15B). Il est cependant intéressant de noter que leur guide n'englobe pas l'arcade complète mais seulement 3 à 4 dents et est uniquement à appui

dentaire. Ce type de guide, moins encombrant, permet de faciliter l'isolation ainsi que la prise de radiographies per-opératoire. Deux fenêtres occlusales sont réalisées dans le guide afin de s'assurer de son positionnement correct (Figure 15C).

Le foret utilisé possède un diamètre de 0,75mm et une longueur de 23mm. Dans les protocoles publiés précédemment, les forets possédaient des diamètres compris entre 0,85mm et 1,5mm (46)(47). Le diamètre utilisé par Bordone et Couvrechel (45) permet d'être plus économe en tissus, particulièrement au niveau du tiers apical, mais augmente la flexibilité du foret et donc le risque de déviation durant les premières étapes de la procédure. Les cas présentés dans cette étude ne font état d'aucune déviation, cependant d'autres études cliniques semblent nécessaires afin de confirmer la reproductibilité de cette technique.

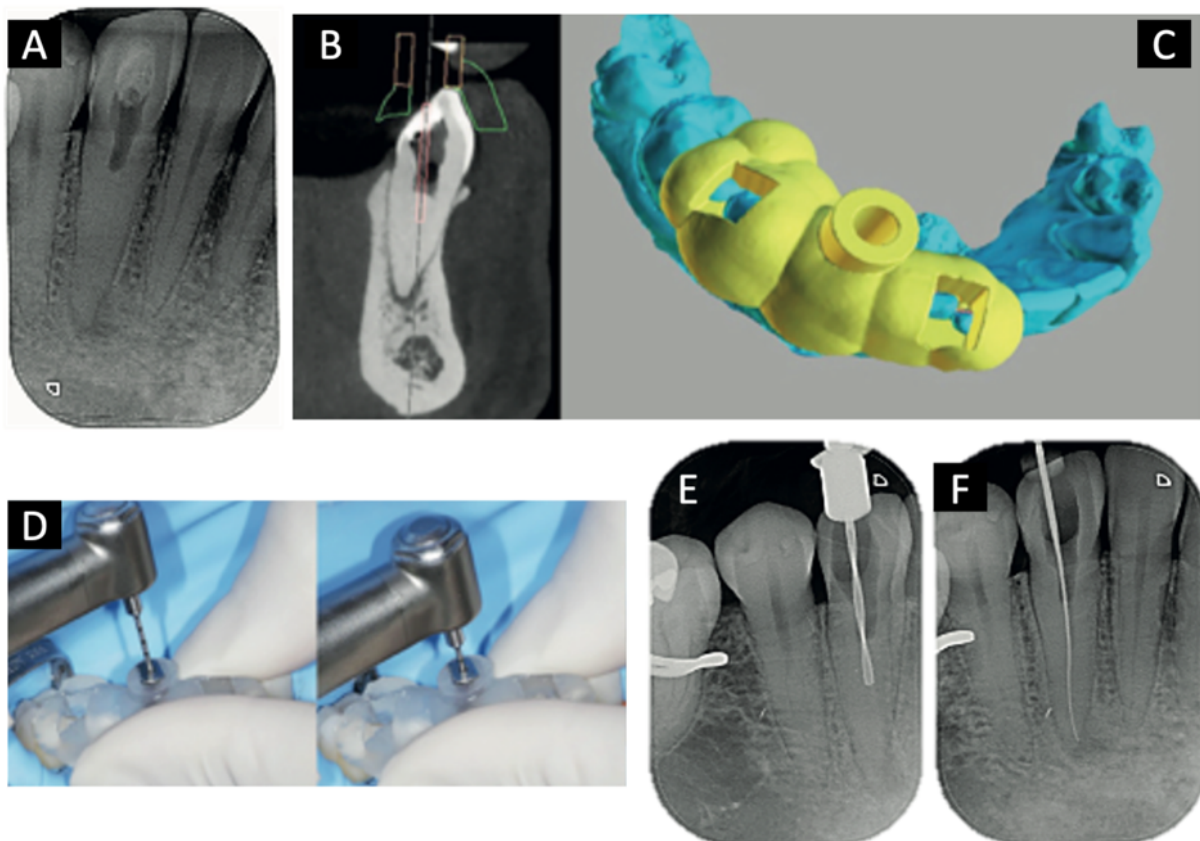


Figure 15 : Différentes étapes du protocole opératoire proposé par Bordone et Couvrechel (45)

En début de séance de soin, un champ opératoire multiple est mis en place afin d'éviter les interférences avec le guide. Le guide est ensuite essayé et son positionnement et sa stabilité sont vérifiés. Une mine en graphite est insérée au travers du guide afin de marquer sur l'émail un point de référence correspondant à l'emplacement de la cavité d'accès. Une fraise diamantée est utilisée, sans le guide, à 40.000RPM afin d'ouvrir la cavité d'accès au travers de



l'émail, tout en laissant une surface plane de dentine perpendiculaire à l'axe de forage déterminée.

Le forage est alors réalisé à l'aide du guide, maintenu en place fermement par l'opérateur, à une vitesse de 20.000RPM (Figure 15D). À chaque millimètre de progression, le guide est retiré afin d'irriguer la cavité d'accès. Cette irrigation permet d'éviter l'échauffement de la dentine et l'accumulation de débris dentinaires. Une radiographie per-opératoire est réalisée avec le foret en place afin de valider la trajectoire (Figure 15E).

La perméabilité est recherchée à l'aide d'une lime C+ .06 à chaque étape de forage. Une fois la perméabilité trouvée et confirmée par une radiographie lime en place (Figure 15F), le traitement endodontique est réalisé de manière classique.

## IV. Discussion

### 1. Avantages / inconvénients de l'endodontie guidée

Une étude *ex vivo* de Zehnder *et al.* a démontré que la précision du forage à l'aide de guides directionnels imprimés en 3D en endodontie est supérieure à la même technique utilisée en implantologie, car un seul foret est utilisé en endodontie (46). Connert *et al.* ajoutent que la meilleure précision du guide endodontique est également liée au fait que l'appui est uniquement dentaire alors que les guides implantaire sont dans certains cas à appui muqueux (47). Les déviations moyennes mesurées dans ces études sont de l'ordre de 0,13mm à 0,21mm à la base du foret et de 0,34mm à 0,47mm à la pointe. Les déviations angulaires entre le projet et le forage final sont comprises entre 1,59° et 1,81°. Des résultats similaires ont été obtenus par Buchgreitz *et al.* (48). La douille métallique présente dans ces guides permet de maintenir le foret dans l'axe planifié, avec des marges d'erreurs considérées comme très faibles par les auteurs. Il faudrait néanmoins mettre ces données en relation avec la longueur des forets. En effet, plus le canal est profond et étroit (par exemple pour une canine), plus le risque sera élevé.

Les procédures de conception et de fabrication du guide allongent la durée totale du traitement et augmentent les coûts (42). En effet, un rendez-vous supplémentaire est nécessaire pour la prise d'empreintes (physique ou numérique) permettant la réalisation du guide, auquel il faut bien évidemment ajouter le coût de sa fabrication (généralement compris entre 60€ et 90€ en fonction des fabricants). Le cone beam requis pour la planification ne semble quant à lui pas rentrer dans ce débat de surcoût temporel et financier, étant donné qu'il est de toute façon indiqué pour le traitement classique des dents oblitérées.

Le temps de travail effectif moyen pour le traitement d'endodontie guidée, incluant le scan des surfaces, la planification et la préparation de la cavité d'accès est de 613 secondes selon Connert *et al.* (47), avec un temps moyen de 30 secondes pour la préparation de la cavité d'accès. Ce temps reste à nuancer. En effet, cette étude a été réalisée *ex-vivo*, sur des dents non calcifiées et par des opérateurs familiers avec la technique. De plus, la mise en place d'un champ opératoire plus large, et donc plus chronophage que pour un soin classique, est nécessaire afin d'éviter le risque d'erreur par interférence du guide avec le champ opératoire. Cette donnée n'a pas été prise en compte dans cette étude.

Des fêlures dentinaires peuvent apparaître à la suite de l'utilisation des forets calibrés en profondeur dans les dents oblitérées. En effet, à la différence de la préparation d'un logement canalaire pour tenon qui nécessite pourtant des forets et des vitesses de rotation similaires, le contact avec les parois canalaire est ici majoré du fait de l'absence de matériau d'obturation (49). Ainsi, les forces générées (particulièrement au niveau de la pointe du foret) sont augmentées et peuvent conduire à la formation de fêlures (50), d'autant plus que le diamètre externe de la racine diminue en se rapprochant de l'apex et qu'il n'existe pas de

préforage. L'effet de coin est alors maximal. Cependant, l'aspect conservateur des cavités d'accès et la prévention des erreurs de procédure semblent l'emporter sur ces inconvénients (43). Des études supplémentaires paraissent cependant nécessaires pour déterminer l'incidence de ces fêlures dentinaires.

De nombreuses études ont montré que les différents systèmes motorisés de mise en forme canalaire pouvaient conduire à l'apparition ou à la propagation de micro-fêlures lors du traitement (51–54). La majeure partie de ces systèmes possèdent des vitesses de rotations aux alentours de 300RPM, ne dépassant que très rarement les 500RPM, et des diamètres compris entre 0,20mm et 0,50mm. Il est alors légitime de se questionner sur la formation et la propagation de micro-fêlures liées à l'utilisation des forets d'endodontie guidée, qui ont des vitesses de rotation allant jusqu'à 20.000RPM et des diamètres minimums de 0,75mm. De plus, on peut supposer que la déformation des forets liée à la vitesse de rotation, aussi faible soit elle, pourrait induire des chocs sur les parois canalaire, conduisant à l'apparition de micro-fêlures. La nature de l'alliage est aussi à considérer dans ces possibles déformations. Il paraît alors intéressant d'envisager des études visant à mesurer ces phénomènes.

L'utilisation du guide empêche l'utilisation du spray lors du forage. L'augmentation de la température ainsi générée au niveau radiculaire représente une agression pour le desmodonte et l'os alvéolaire (55). Hussey *et al.* ont montré une corrélation entre l'élévation de la température et l'augmentation du diamètre des forets (56). La réduction du diamètre des forets utilisés pour l'endodontie guidée permet donc une amélioration de ce paramètre. L'incapacité d'irrigation lors du forage soulève également le problème du risque d'accumulation de débris dentinaires. L'irrigation canalaire à l'aide d'hypochlorite de sodium avec retrait du guide tous les millimètres de forage semble indispensable. On peut également se poser la question de la présence éventuelle de débris métalliques causés par le forage au travers de la douille.

Cette même douille présente également l'inconvénient de limiter le choix du foret à celui pour lequel elle a été prévue. Même si le guide est conçu avec une douille interchangeable, le mauvais positionnement de celle-ci pourrait devenir une source d'erreurs. Les futures évolutions en termes d'endodontie guidée pourraient donc aboutir à la disparition de cette douille métallique. Des matériaux plus rigides seraient alors nécessaires pour la conception du guide afin qu'il ne soit pas délabré lors du forage.

Un cone beam petit champ paraît suffisant pour permettre la correspondance avec le fichier issu de l'enregistrement des surfaces dentaires. L'important est d'avoir suffisamment de couronnes dentaires sans artefact radiologique sur le fichier issu du CBCT pour permettre une fusion correcte des 2 fichiers. Pour assurer une précision et une reproductibilité satisfaisante lors de l'étape de fusion STL / DICOM, il est nécessaire de prendre en considération les éléments prothétiques environnants de l'arcade pouvant générer des zones d'artefacts radiographiques sur le volume 3D (couronnes métalliques, couronnes zircons, Implants dentaires, amalgames...) (24).

Concernant les recommandations pour l'utilisation du guide en fonction des différents types d'oblitération canalaire par minéralisation (20), le type I rapporte une oblitération complète liée à la sénescence pulpaire avec apposition de dentine secondaire. En théorie ce devrait être uniquement de la dentine secondaire, mais en pratique, on retrouve très souvent de la dentine tertiaire car ces dents « âgées » ou « hyperfonctionnelles » sont le site d'abrasion occlusale ou cervicale, de fêlures ou de récessions parodontales. La présence de cette dentine tertiaire, d'une teinte plus sombre, peut alors aider le praticien spécialiste, équipé d'aide optiques performantes, dans la recherche des orifices canaux en s'affranchissant du guide (Figure 16).

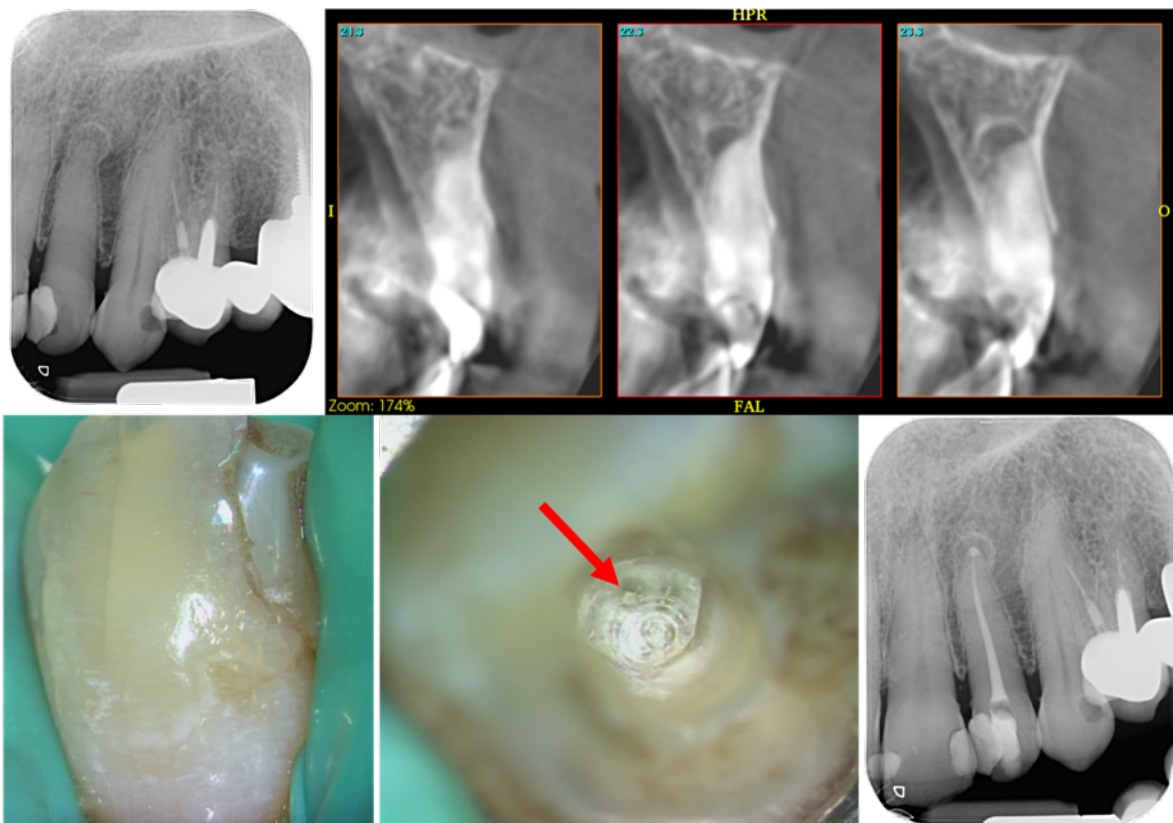


Figure 16 : Découverte de l'orifice canalaire par différence de teinte de la dentine tertiaire, pour une dent « âgée » oblitérée par minéralisation liée à la sénescence pulpaire. Le canal ne peut être retrouvé avec certitude sur les différentes imageries. La dent présente néanmoins des fêlures et restaurations qui expliquent la présence de dentine tertiaire en plus de la dentine secondaire – Courtoise Dr Ludovic Pommel

Pour la dépose des tenons fibrés, les diamètres de forets utilisés dans les différents articles donnent matière à réflexion. En effet, des forets supérieurs à 2mm de diamètre paraissent relativement important pour la pénétration intra-canaire. Ces instruments ont des diamètres supérieurs à des forets de Gates Glidden n°5 dont l'utilisation intra-canaire est contre-indiquée. Il paraît évident que l'utilisation de ces diamètres comporte de nombreux risques, les vibrations induites pourraient être à l'origine de fêlures et la moindre déviation compromettrait très probablement la conservation de la dent.

L'analyse précise du cas, du diamètre radulaire et du diamètre du tenon est primordiale dans ces situations, notamment si l'on est confronté à un diamètre de tenon déjà trop important. Il apparaît alors nécessaire de forer uniquement le tenon, sans perte de substance dentaire supplémentaire.

La dépose des tenons reste hasardeuse et nécessite un contrôle visuel précis sous microscope. Le guide endodontique associé à un foret court et de diamètre restreint, complété par des inserts à ultra-sons utilisés précautionneusement sous microscope semble être l'approche la moins délétère. Les diamètres de foret les plus importants paraissent quant à eux contre-indiqués.

Les guides chirurgicaux en endodontie peuvent être utilisés de différentes manières, comme vu précédemment. La première méthode utilise le guide uniquement pour pointer la zone apicale à l'aide d'une fraise. On peut alors se questionner sur la réelle utilité d'un guide pour une utilisation si restreinte, en tenant compte du surcoût temporel et financier qu'il représente.

La méthode utilisant un guide pour réaliser l'ostéotomie ainsi que la résection apicale dans le même temps à l'aide d'un trépan semble manquer de précision. En effet, les auteurs font état d'erreurs de pénétration allant de 0,71mm trop peu profonde à 0,31mm au-delà de la zone à réséquer (39). Cela représente une marge d'erreur de 1mm, ce qui semble relativement importante dans ce contexte.

Comme pour les traitements orthogrades, la planification pour la réalisation des guides chirurgicaux reste primordiale. Ils pourront aider le praticien à réaliser une ostéotomie précise et à minima, tout en gardant à l'esprit que la taille de l'ostéotomie doit être en relation avec la taille de la lésion et les impératifs de curetage.

Enfin, l'endodontie guidée est bien entendu limitée par les racines courbes, étant donné la rigidité des forets utilisés. De plus, l'encombrement du guide peut être problématique. Cependant, ces deux contraintes sont principalement liées aux dents postérieures, qui sont moins sujettes aux minéralisations profondes, car moins exposées aux traumatismes (hors traumatismes occlusaux).

## 2. Perspectives de développement

Dans ce mémoire, nous avons évoqué uniquement l'utilisation des guides statiques à appui dentaires que l'on pourrait qualifier de « fermés ». Cette méthode est la plus décrite dans la littérature, mais d'autres techniques de guidage en endodontie ont fait l'objet de publications. Les techniques de guidage en endodontie étant relativement récente (la publication la plus ancienne recensée pour l'écriture de ce mémoire date de 2012 (2)), certaines méthodes sont encore en plein développement et continuent d'évoluer au fil des publications.

Parmi les autres techniques décrites, on retrouve une technique que l'on pourrait qualifier de guide statique à appui dentaire « ouvert ». Baptisée Zingis, elle s'inspire d'un système de guide chirurgical développé à l'origine pour la pose d'implants (57). Ce système permet de guider non pas le foret mais directement la tête du contre angle, à l'aide de deux rails incorporés dans le guide issu d'une impression 3D (Figure 17). La planification est quant à elle semblable à celle utilisée pour les guides fermés. Le système Zingis a pu être appliqué avec succès pour le traitement de canines et prémolaires supérieures présentant des oblitérations canalaires par minéralisation (45,58). La suppression de la douille permet de ne pas être limité à l'utilisation d'un seul foret. La cavité d'accès, réalisée à l'aide d'une fraise diamantée à 40.000RPM, est effectuée à l'aide du guide. Un foret de 0,75mm est ensuite utilisé à 20.000RPM pour retrouver le canal. Le guide étant ouvert, l'irrigation pendant le forage est réalisée via le spray du contre angle, permettant de limiter au maximum l'échauffement de la dentine. De plus, ce type de guide permet d'améliorer la visibilité de l'utilisateur et pourrait permettre l'utilisation de foret plus court. Cela limiterait l'encombrement et devrait permettre l'utilisation de cette technique sur des dents postérieures ou chez des patients avec une limitation d'ouverture buccale.

Ce guide prenant appui sur les dents adjacentes à la dent traitée mais également sur les dents controlatérales, impose de poser un champ opératoire plus large que pour les guides fermés. De plus, la prise d'appui de ce type de guide pourrait être rendue impossible si des édentements trop importants sont présents chez le patient.



Figure 17 : Système Zingis de guide statique ouvert à appui dentaire (45,58)

Une autre méthode de guidage, cette fois-ci dynamique et non pas statique, est décrite dans la littérature. Cette méthode est elle aussi dérivée d'un système ayant fait ses preuves dans le domaine de l'implantologie orale (59).

Le guidage dynamique est basé sur une technologie de navigation chirurgicale assistée par ordinateur, qui s'apparente au système GPS ou à la navigation par satellite. Des caméras et

des cibles reliées au patient ainsi qu'à la pièce à main permettent un système de capture de mouvement (motion-tracking) par triangulation optique, le tout mis en relation en temps réel avec une image CBCT réalisée au préalable (Figure 18A, Figure 18B).

La planification s'appuie donc sur une imagerie CBCT, comme pour la réalisation d'un guide statique. L'image du CBCT est ensuite mise en corrélation avec l'arcade dentaire du patient, en prenant 6 points de repères radiographiques qui seront tracés en bouche à l'aide d'un outil du logiciel utilisé (60) (Figure 18C, Figure 18E). Un test de précision, consistant à pointer le bord occlusal de la dent adjacente, est réalisé afin de valider la bonne correspondance entre le système de guidage et le CBCT.

Lorsque la pièce à main approche de la dent concernée, le système de positionnement apparaît sur le moniteur. Une cible matérialise la position correcte, la croix devant être alignée dans le cercle afin de conserver la position planifiée. La profondeur de forage est indiquée par une jauge avec un code couleur (vert, puis jaune 1mm avant la profondeur planifiée et enfin rouge lorsque l'objectif est atteint) (Figure 18D).

Zubizarreta-Macho *et al.* ont montré qu'il n'existait pas de différence significative entre les systèmes de guidages statique et dynamique concernant la précision de la réalisation des cavités d'accès en endodontie (61). Cependant, Chong *et al.* ont enregistré des difficultés dans la localisation de certains canaux (notamment palatins) sur les dents postérieures à l'aide de guides dynamiques (59).

D'après les différents auteurs, la principale difficulté du système dynamique réside dans le fait de garder l'affichage en vue durant le traitement. En effet, l'opérateur est contraint de regarder l'écran lui indiquant les données de positionnement plutôt que sa zone de travail.

Certains points négatifs des systèmes de guides statiques sont évités avec cette technique dynamique. Le fait justement de ne pas avoir de guide physique permet d'utiliser n'importe quel type de foret, sans être limité par le calibre de la douille. Cependant, l'axe de la pièce à main devra être recalibré à chaque changement de foret. L'encombrement au niveau de la tête de la pièce à main est également réduit, ce qui permet l'utilisation de cette méthode sur les dents postérieures ou chez des patients avec une ouverture limitée. En revanche, dans les différents articles cités, aucun n'associe la technique de guide dynamique avec la mise en place d'un champ opératoire.

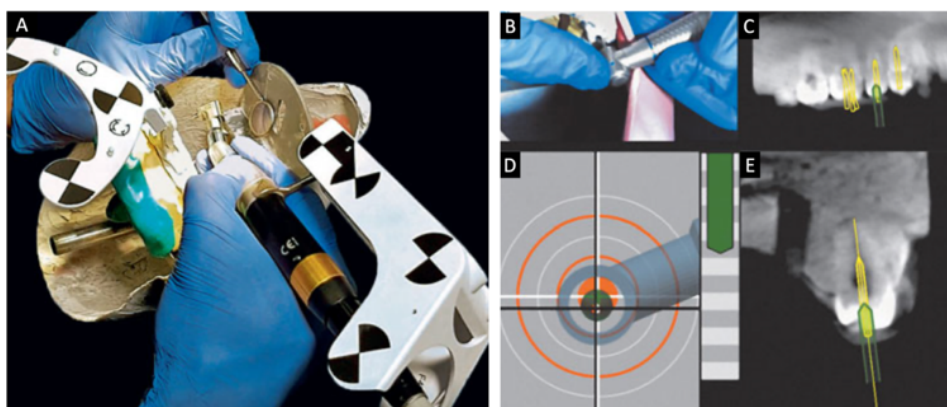


Figure 18 : Système de guide endodontique dynamique (59)

## Conclusion

L'endodontie guidée par guide statique à appui dentaire apparaît comme une méthode efficace, facile à planifier et à mettre en œuvre. Elle semble particulièrement indiquée pour guider le praticien non spécialisé en endodontie face à des cas d'oblitération canalaire. Elle permettra, en respectant ses indications et une bonne méthode de travail, de retrouver la lumière canalaire tout en étant économe en tissu sain dans des cas d'oblitération des deux premiers tiers canalaires.

Lorsque l'oblitération sera plus profonde, l'intervention d'un praticien spécialisé, équipé d'un microscope opératoire paraît nécessaire afin d'éviter que les forets d'endodontie guidée ne travaillent trop en profondeur, ce qui pourrait être à l'origine de micro-fêlures ou éventuellement de perforation, en prenant en compte le risque de déviation angulaire et le rétrécissement du diamètre radiculaire à ce niveau. En cas d'oblitération complète, le traitement par chirurgie endodontique peut s'avérer plus indiqué.

Les techniques d'endodontie guidée étant encore récente, de plus amples études semblent nécessaires afin de déterminer le diamètre ainsi que les vitesses de rotation des forets les moins à même de créer des micro-fêlures radiculaires et des déviations d'axe, tout en restant dans une optique d'économie tissulaire optimale.

L'endodontie guidée trouve également une application intéressante dans le cadre de la chirurgie apicale. Le système guidera le praticien pour la localisation de l'apex et la réalisation d'une ostéotomie la plus conservatrice possible, en accord avec les impératifs de curetage.



## Bibliographie

1. Patel S, Durack C, Abella F, Shemesh H, Roig M, Lemberg K. Cone beam computed tomography in Endodontics - a review. *Int Endod J.* janv 2015;48(1):3-15.
2. 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. *Int Endod J.* 2012;14.
3. Byun C, Kim C, Cho S, Baek SH, Kim G, Kim SG, et al. Endodontic Treatment of an Anomalous Anterior Tooth with the Aid of a 3-dimensional Printed Physical Tooth Model. 2015;5.
4. Weber H-P, Cano J, Bonino F. Digital Implant Surgery. In: Masri R, Driscoll CF, éditeurs. *Clinical Applications of Digital Dental Technology* [Internet]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Inc; 2015 [cité 4 mai 2021]. p. 139-66. Disponible sur: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781119045564.ch7>
5. 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: Stereolithographic Guided Surgery: A Review. *Clin Implant Dent Relat Res.* juin 2012;14(3):321-35.
6. Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N. Accuracy of Implant Placement with a Stereolithographic Surgical Guide. 2003;7.
7. Kernen F, Benic GI, Payer M, Schär A, Müller-Gerbl M, Filippi A, et al. Accuracy of Three-Dimensional Printed Templates for Guided Implant Placement Based on Matching a Surface Scan with CBCT: Accuracy of Printed Templates. *Clin Implant Dent Relat Res.* août 2016;18(4):762-8.
8. Shah P, Chong BS. 3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics. *Clin Oral Investig.* mars 2018;22(2):641-54.
9. Torneck C. The clinical significance and management of calcific pulp obliteration. *Alpha Omegan.* 1990;83(4):50-54.
10. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, van der Stelt P, Wesselink PR. Detection of Vertical Root Fractures in Endodontically Treated Teeth by a Cone Beam Computed Tomography Scan. *J Endod.* mai 2009;35(5):719-22.
11. Erdelyi RA, Duma V-F. Optimization of radiation doses and patients' risk in dental radiography. In Timisoara, Romania; 2019 [cité 8 oct 2021]. p. 040013. Disponible sur: <http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5090080>
12. McCabe PS, Dummer PMH. Pulp canal obliteration: an endodontic diagnosis and treatment challenge: Diagnosis and treatment of pulpal obliteration. *Int Endod J.* févr 2012;45(2):177-97.
13. Fonseca Tavares WL, Diniz Viana AC, de Carvalho Machado V, Feitosa Henriques LC, Ribeiro Sobrinho AP. Guided Endodontic Access of Calcified Anterior Teeth. *J Endod.* juill 2018;44(7):1195-9.
14. Morse DR. Age-related changes of the dental pulp complex and their relationship to systemic aging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* déc 1991;72(6):721-45.
15. Andreasen FM, Zhjie Y, Thomsen BL, Andersen PK. Occurrence of pulp canal obliteration after luxation injuries in the permanent dentition. *Dent Traumatol.* juin 1987;3(3):103-15.
16. Robertson A, Andreasen FM, Bergenholtz G, Andreasen JO, Norén JG. Incidence of pulp necrosis subsequent to pulp canal obliteration from trauma of permanent incisors. *J Endod.* oct 1996;22(10):557-60.

17. American Association of Endodontists. AAE Endodontic Case Difficulty Assessment and Referral. *Endodontics* 2005 Spring/Summer. :1-7.
18. Kvinnsland I, Oswald RJ, Halse A, Grønningsæter AG. A clinical and roentgenological study of 55 cases of root perforation. *Int Endod J.* mars 1989;22(2):75-84.
19. Carrotte P. Surgical endodontics. *Br Dent J.* janv 2005;198(2):127-33.
20. Bordone A, Perez C, Couvrechel C. Endodontie Guidée : apprendre à utiliser et concevoir des guides. *Endo Académie - Advanced Class*; 2021.
21. Castrisos T, Abbott P. A survey of methods used for post removal in specialist endodontic practice. *Int Endod J.* 2002;9.
22. Scotti N, Bergantin E, Alovisei M, Pasqualini D, Berutti E. Evaluation of a Simplified Fiber Post Removal System. 2013;39(11):4.
23. Haupt F, Pfitzner J, Hülsmann M. A comparative in vitro study of different techniques for removal of fibre posts from root canals. *Aust Endod J Aust Soc Endodontology Inc.* déc 2018;44(3):245-50.
24. Perez C, Finelle G, Couvrechel C. Optimisation of a guided endodontics protocol for removal of fibre-reinforced posts. *Aust Endod J.* avr 2020;46(1):107-14.
25. Maia LM, Moreira Júnior G, Albuquerque R de C, de Carvalho Machado V, da Silva NRFA, Hauss DD, et al. Three-dimensional endodontic guide for adhesive fiber post removal: A dental technique. *J Prosthet Dent.* mars 2019;121(3):387-90.
26. Schwindling FS, Tasaka A, Hilgenfeld T, Rammelsberg P, Zenthöfer A. Three-dimensional-guided removal and preparation of dental root posts—concept and feasibility. *J Prosthodont Res.* janv 2020;64(1):104-8.
27. Camus J-P. Endodontie chirurgicale. Éditions CdP. Paris; 1998. 108 p. (Guide Clinique).
28. Siqueira JF. Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail: Aetiology of endodontic failure. *Int Endod J.* janv 2001;34(1):1-10.
29. Nair PNR. On the causes of persistent apical periodontitis: a review. *Int Endod J.* avr 2006;39(4):249-81.
30. Kim S, Kratchman S. Modern Endodontic Surgery Concepts and Practice: A Review. *J Endod.* juill 2006;32(7):601-23.
31. Harrison JW, Jurosky KA. Wound healing in the tissues of the periodontium following periradicular surgery. II. The dissectional wound. *J Endod.* nov 1991;17(11):544-52.
32. Cortellini P, Tonetti MS. Microsurgical Approach to Periodontal Regeneration. Initial Evaluation in a Case Cohort. *J Periodontol.* avr 2001;72(4):559-69.
33. Patel S, Aldowaisan A, Dawood A. A novel method for soft tissue retraction during periapical surgery using 3D technology: a case report. *Int Endod J.* août 2017;50(8):813-22.
34. Nair MK, Nair UP. Digital and Advanced Imaging in Endodontics: A Review. *J Endod.* janv 2007;33(1):1-6.
35. Rubinstein RA, Kim S. Short-Term Observation of the Results of Endodontic Surgery with the Use of a Surgical Operation Microscope and Super-EBA as Root-End Filling Material. :6.
36. Pinsky H, Champlébois G, Sarment D. Periapical Surgery Using CAD/CAM Guidance: Preclinical Results. *J Endod.* févr 2007;33(2):148-51.
37. Kim J-E, Shim J-S, Shin Y. A new minimally invasive guided endodontic microsurgery by cone beam computed tomography and 3-dimensional printing technology. *Restor Dent Endod.* 2019;44(3):e29.
38. Liu Y, Liao W, Jin G, Yang Q, Peng W. Additive manufacturing and digital design assisted precise apicoectomy: a case study. *Rapid Prototyp J.* 14 janv 2014;20(1):33-40.
39. Antal M, Nagy E, Braunitzer G, Fráter M, Piffkó J. Accuracy and clinical safety of guided root end resection with a trephine: a case series. *Head Face Med.* déc 2019;15(1):30.

40. Strbac GD, Schnappauf A, Giannis K, Moritz A, Ulm C. Guided Modern Endodontic Surgery: A Novel Approach for Guided Osteotomy and Root Resection. *J Endod.* mars 2017;43(3):496-501.
41. Levin MD. Digital Technology in Endodontic Practice. In: Cohen's Pathways of the Pulp [Internet]. Elsevier; 2011 [cité 3 mai 2021]. p. 969-1006. Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978032306489700028X>
42. van der Meer WJ, Vissink A, Ng YL, Gulabivala K. 3D Computer aided treatment planning in endodontics. *J Dent.* févr 2016;45:67-72.
43. Krastl G, Zehnder MS, Connert T, Weiger R, Kühl S. Guided Endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology. *Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol.* juin 2016;32(3):240-6.
44. Sanchez Restrepo S. L'impression 3D par Stéréolithographie, on vous explique tout ! [Internet]. 3Dnatives. 2016. Disponible sur: <https://www.3dnatives.com/limpression-3d-par-stereolithographie-on-vous-explique-tout/>
45. Bordone A, Couvrechel C. Treatment of obliterated root canals using various guided endodontic techniques: a case series. *G Ital Endodonzia* [Internet]. 4 juin 2020 [cité 12 avr 2021];34(1). Disponible sur: <https://doi.org/10.32067/GIE.2020.34.01.06>
46. 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.* oct 2016;49(10):966-72.
47. 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. *J Endod.* mai 2017;43(5):787-90.
48. 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.* août 2016;49(8):790-5.
49. 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. *Int Endod J.* févr 2018;51(2):247-55.
50. Çapar İD, Uysal B, Ok E, Arslan H. Effect of the Size of the Apical Enlargement with Rotary Instruments, Single-cone Filling, Post Space Preparation with Drills, Fiber Post Removal, and Root Canal Filling Removal on Apical Crack Initiation and Propagation. *J Endod.* févr 2015;41(2):253-6.
51. Zhou X, Jiang S, Wang X, Wang S, Zhu X, Zhang C. Comparison of dentinal and apical crack formation caused by four different nickel-titanium rotary and reciprocating systems in large and small canals. *Dent Mater J.* 2015;34(6):903-9.
52. Adorno CG, Yoshioka T, Jindan P, Kobayashi C, Suda H. The effect of endodontic procedures on apical crack initiation and propagation *ex vivo*. *Int Endod J.* août 2013;46(8):763-8.
53. Topçuoğlu HS, Düzgün S, Kesim B, Tuncay Ö. Incidence of Apical Crack Initiation and Propagation during the Removal of Root Canal Filling Material with ProTaper and Mtwo Rotary Nickel-Titanium Retreatment Instruments and Hand Files. *J Endod.* juill 2014;40(7):1009-12.
54. Özyürek T, Tek V, Yılmaz K, Uslu G. Incidence of apical crack formation and propagation during removal of root canal filling materials with different engine driven nickel-titanium instruments. *Restor Dent Endod.* 2017;42(4):332.
55. Saunders EM, Saunders WP. The heat generated on the external root surface during post space preparation. *Int Endod J.* juill 1989;22(4):169-73.
56. Hussey DL, Biagioni PA, McCullagh JJP, Lamey P-J. Thermographic assessment of

heat generated on the root surface during post space preparation. *Int Endod J.* 30 oct 2003;30(3):187-90.

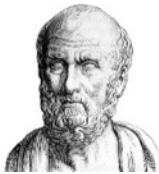
57. Mouhyi J, Salama MA, Mangano FG, Mangano C, Margiani B, Admakin O. A novel guided surgery system with a sleeveless open frame structure: a retrospective clinical study on 38 partially edentulous patients with 1 year of follow-up. *BMC Oral Health.* déc 2019;19(1):253.

58. Torres A, Lerut K, Lambrechts P, Jacobs R. Guided Endodontics: Use of a Sleeveless Guide System on an Upper Premolar with Pulp Canal Obliteration and Apical Periodontitis. *J Endod.* janv 2021;47(1):133-9.

59. Chong BS, Makdissi J. Computer-aided dynamic navigation: a novel method for guided endodontics. *Quintessence Int.* 22 févr 2019;50(3):196-202.

60. Gambarini G, Galli M, Stefanelli LV, Di Nardo D, Morese A, Seracchiani M, et al. Endodontic Microsurgery Using Dynamic Navigation System: A Case Report. *J Endod.* nov 2019;45(11):1397-1402.e6.

61. Zubizarreta-Macho Á, de Pedro Muñoz A, Riad Deglow E, Agustín-Panadero R, Mena Álvarez J. Accuracy of Computer-Aided Dynamic Navigation Compared to Computer-Aided Static Procedure for Endodontic Access Cavities: An In Vitro Study. *J Clin Med.* 2 janv 2020;9(1):129.



## SERMENT MEDICAL

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'HIPPOCRATE.

Je promets et je jure, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine Dentaire.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.

J'informerai mes patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des connaissances pour forcer les consciences.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leur père.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois déshonoré et méprisé de mes confrères si j'y manque.



**BONNEFOND Alexandre** – Endodontie guidée par guide statique à appui dentaire : intérêts, méthodes, limites

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix –Marseille Université : 2022

Rubrique de classement : Endodontie

Résumé :

Lors d'un traitement endodontique, l'accès aux canaux peut être rendu difficile par plusieurs paramètres pouvant potentialiser le risque d'erreur de trajectoire. L'endodontie guidée a alors été développée dans le but de guider le praticien lors de la tentative d'accès aux orifices canaux. Les guides statiques à appui dentaire sont produits à l'aide d'une planification faisant appel à une imagerie CBCT ainsi qu'à une réplique numérique de l'arcade du patient. Ils trouvent des applications dans des cas d'oblitération canalaire par minéralisation, pour la dépose de tenons fibrés mais également pour la recherche des apex lors de traitements endodontiques par voie rétrograde. Ces techniques étant récentes, des études semblent encore nécessaires afin d'évaluer leur impact sur d'éventuelles apparitions de micro-fêlures radiculaires et pour déterminer les diamètres de forets optimaux.

Mots clés : Endodontie – Endodontie guidée – Cavité d'accès – Oblitération canalaire

**BONNEFOND Alexandre** – Guided endodontics by tooth supported statical guide : advantages, methods, limits

Abstract:

During endodontics treatment, canal access may be jeopardized by many parameters which could increase risks of trajectory error. Guided endodontics is developed with the aim to guide the practitioner during the attempt of accessing to the canals' entrances. Tooth supported statical guides are produced using a CBCT planning and a digital registration of the patient's dentition. They find their using in cases like mineral obliteration, fiber posts removal but also to locate apices during surgical endodontics treatments. These techniques being recent, further investigations seems necessary to evaluate their impact on roots micro-cracks apparitions and to determine optimum drills size.

Key words : Endodontics – Guided endodontics – Access cavity – Pulp canal obliteration