



# UNIVERSITE DE LILLE FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

[Année de soutenance : 2022] N°:

### THESE POUR LE

### DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 08 DECEMBRE 2022

Par Sarah BIZART

Née le 05 Août 1997 à Sainte Catherine les Arras

L'ACCES GUIDE EN ENDODONTIE : DES GUIDES D'ACCES STATIQUES VERS LA NAVIGATION DYNAMIQUE ASSISTEE PAR ORDINATEUR

### **JURY**

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Assesseurs: Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Madame le Docteur Marine SAVIGNAT

Madame le Docteur Marine HENAUT





Président de l'Université : Pr. R. BORDET

Directrice Générale des Services de l'Université : M-D. SAVINA

Doyen UFR3S : Pr. D. LACROIX

Directrice des Services d'Appui UFR3S : G. PIERSON

Doyen de la faculté d'Odontologie — UFR3S : Pr. C. DELFOSSE

Responsable des Services : M. DROPSIT
Responsable de la Scolarité : G. DUPONT

### PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE.

### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES:**

K. AGOSSA Parodontologie

P. BEHIN Prothèses

T. COLARD Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

C. DELFOSSE Doyen de la faculté d'Odontologie — UFR3S

Odontologie Pédiatrique

E. DEVEAUX Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice

**Endodontie** 

### MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

A. BLAIZOT Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.

P. BOITELLE Responsable du Département de Prothèses

F. BOSCHIN Responsable du Département de Parodontologie

E. BOCQUET Responsable du Département d'Orthopédie Dento-Faciale

C. CATTEAU Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie,

Economie de la Santé, Odontologie Légale.

X. COUTEL Biologie Orale

A. de BROUCKER Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

M. DEHURTEVENT Prothèses

T. DELCAMBRE Prothèses

F. DESCAMP Prothèses

M. DUBAR Parodontologie

A. GAMBIEZ Dentisterie Restauratrice Endodontie

F. GRAUX Prothèses

C. LEFEVRE Prothèses

M. LINEZ Dentisterie Restauratrice Endodontie

T. MARQUILLIER Odontologie Pédiatrique

G. MAYER Prothèses

L. NAWROCKI Responsable du Département de Chirurgie Orale

Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille

C. OLEJNIK Responsable du Département de Biologie Orale

P. ROCHER Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

L. ROBBERECHT Dentisterie Restauratrice Endodontie

M. SAVIGNAT Responsable du Département des Fonction-Dysfonction, Imagerie,

**Biomatériaux** 

T. TRENTESAUX Responsable du Département d'Odontologie Pédiatrique

J. VANDOMME Prothèses

# Réglementation de présentation du mémoire de Thèse Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

## Table des matières

Table des abre	éviations	6
1. Introdu	iction	7
2. La dent	minéralisée en endodontie	8
2.1 Physiopat	hologie de la minéralisation pulpaire et dentinaire	8
2.2 Impacts de	e la minéralisation sur le traitement endodontique1	.1
2.2.1 Changer	nent d'aspect dentinaire1	.1
2.2.2 Diminut	ion de la lumière canalaire1	2
2.2.3 Formation	on de pulpolithes1	3
2.2.4 Difficulte	és provoquées par la minéralisation en endodontie1	4
2.3 Prise en ch	narge de la dent minéralisée1	6
2.3.1 Accès co	nventionnel sous aides optiques1	7
3. Guides	d'accès endodontiques statiques1	8
4. La navi	gation dynamique pour l'accès endodontique orthograde2	2
4.1 Principes		2
4.2 Protocole	pour un accès endodontique guidé par navigation dynamique (Navident) 2	5
5. Discuss	iion3	1
5.1 Taux de su	ıccès3	1
5.2 Facteurs in	nfluençant les risques opératoires3	3
5.3 Durée de t	traitement3	6
5.4 Expérience	e de l'opérateur3	8
5.5 Coût	3	9
5.6 Tableau ré	Scapitulatif4	.1
6 Conclus	sion et nerspectives 4	2

### Table des abréviations

CBCT : Cone Beam Computed Tomography

CFAO : Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur

SIBLINGS : Small Integrin-Binding Ligand N-Linked Glycoproteins

### 1. Introduction

La minéralisation pulpaire génère des difficultés de visibilité et d'accès à l'ensemble du système canalaire lors de la réalisation d'un traitement endodontique. Ceci complique l'obtention de la perméabilité canalaire et réduit les chances de succès du traitement [14]. Des techniques récentes impliquant le flux numérique et la CFAO servent d'outil pour réduire le risque iatrogène lors de la prise en charge de la dent minéralisée [29].

Le développement de l'imagerie tridimensionnelle a mené à la création des guides endodontiques statiques. Ils ont été conçus en s'inspirant des techniques préexistantes en implantologie. Ils permettent de positionner avec précision les instruments et de sécuriser l'axe de forage à l'aide d'un guide chirurgical, lors de la réalisation de la cavité d'accès. Cet axe est déterminé grâce à une étape de planification où des données d'imagerie CBCT sont superposées à une empreinte numérique. Suite à cela, le guide est mis en bouche et aide le praticien lors de la recherche de l'entrée canalaire [2].

Plus récemment, la navigation dynamique assistée par ordinateur est apparue. Elle permet de suivre la position et l'orientation des instruments utilisés en temps réel, sans avoir recours à un guide physique [29], en combinant l'axe de forage planifié avec un système de suivi des instruments lors du forage.

L'objectif de cette thèse est de décrire les techniques d'endodontie guidée, et de les comparer aux techniques d'accès conventionnel.

### 2. La dent minéralisée en endodontie

### 2.1 Physiopathologie de la minéralisation pulpaire et dentinaire

La minéralisation est un processus physiologique retrouvé naturellement au niveau des dents humaines. Elle peut également survenir en réponse à un phénomène pathologique ou à une agression extérieure. La pulpe dentaire est le tissu conjonctif spécialisé situé dans la partie centrale de la dent, délimité par les parois dentinaires. Le terme de minéralisation pulpaire désigne la formation d'un tissu minéralisé dans le système canalaire (dentine secondaire, dentine tertiaire, pulpolithes).

La dentine est composée en majorité par une phase minérale d'hydroxyapatite (à 70%). Les 30% restant sont faits :

- d'une matrice organique de protéines collagéniques, notamment de collagène de type 1; de protéines non collagéniques phosphorylées comme les SIBLINGS, les protéoglycanes, et les amélogénines ainsi que de protéines non collagéniques non phosphorylées,
- d'une phase aqueuse (environ 10%) [19].

L'ensemble de ces protéines contribue non seulement à la structure de la dentine mais rentre aussi dans le processus de minéralisation [42]. La dentine est sécrétée sous forme organique par des odontoblastes et sera minéralisée secondairement [20].

En outre, plusieurs types de dentines peuvent être décrites, selon le moment où elles sont synthétisées [33].

- La dentine primaire est produite par des odontoblastes dits primaires durant la formation de l'organe dentaire et jusqu'à la fin de l'édification radiculaire. Elle représente la majeure partie de la dentine.
- La dentine secondaire est formée par les odontoblastes primaires au cours de la vie, en moindre quantité, notamment au niveau du plafond et des cornes pulpaires. Cette sécrétion est physiologique, et les tubuli dentinaires y sont plus courbées que dans la dentine primaire.
- La dentine tertiaire se forme plus tardivement, en réponse à des stimuli biomécaniques. En effet, la minéralisation du tissu pulpaire peut être une réponse à une agression ou à un phénomène extérieur [45] : le traumatisme dentaire, le traitement orthodontique, la carie dentaire, les soins restaurateurs ainsi que les pertes de substance d'origine non carieuse comme l'érosion ou le bruxisme. La dentine tertiaire est également appelée ostéodentine et se compose la plupart du temps d'un nombre plus faible de tubuli. Il est important de distinguer deux sortes de dentines tertiaires : la dentine réactionnelle et la dentine réparatrice.

La dentine réactionnelle est produite par des odontoblastes primaires ayant survécu aux différents stimuli. La dentine réparatrice est quant à elle formée par une nouvelle génération d'odontoblastes, dits « odontoblast-like », lorsque les odontoblastes primaires sont détruits. Cette dentine est dépourvue de canalicules et peut contenir des inclusions cellulaires [32].

La formation de ces différents tissus et leur cohabitation au sein de l'organe dentaire peuvent avoir plusieurs répercussions sur le traitement endodontique.

Afin de pouvoir réaliser ce dernier dans les meilleures conditions, il est bon de pouvoir prévoir ces changements pour adapter l'approche thérapeutique. Ainsi, l'analyse préopératoire précise de l'histoire de la dent (lésion carieuse, érosion, ou encore traumatisme) doit orienter le praticien et lui faire suspecter de potentielles minéralisations intra-pulpaires. Celui-ci peut alors prendre les mesures appropriées en conséquence.

### 2.2 Impacts de la minéralisation sur le traitement endodontique

### 2.2.1 Changement d'aspect dentinaire

La minéralisation pulpaire a pour effet de changer les couleurs dentinaires. La dentine secondaire comporte des canalicules plus étroits, moins nombreux et plus courbés que dans la dentine primaire. Ainsi, la limite avec la dentine primaire est plus foncée et donc plus facile à mettre en évidence (Figure 1). La dentine tertiaire est quant à elle plus sombre et oblitère progressivement le système canalaire [43].

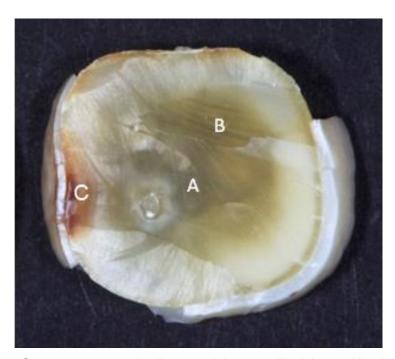


Figure 1 : Coupe transversale d'une molaire mandibulaire cariée dans la partie coronaire, permettant de visualiser la minéralisation réactionnelle de la dent face à une lésion carieuse (A Dentine tertiaire, B Dentine Secondaire, C Lésion carieuse).

Courtoisie du Dr A.Gambiez.

### 2.2.2 Diminution de la lumière canalaire

La minéralisation provoque une réduction progressive non homothétique du volume pulpaire. Avec le temps, l'épaisseur de dentine croît au détriment de l'espace précédemment occupé par la pulpe [21]. Cela aboutit à une oblitération progressive du volume pulpaire, pouvant aller jusqu'à une oblitération complète.

La dentine secondaire est déposée préférentiellement sur le versant palatin des chambres pulpaires des dents antérieures (incisives, canines). Au niveau des dents postérieures (prémolaires et molaires), ce dépôt est principalement retrouvé au niveau du plafond et du plancher pulpaire ainsi que dans les régions cervicales (Figure 2) [43]. Cette apposition sur le plafond pulpaire complique l'accès du praticien au système canalaire lorsqu'un traitement endodontique est nécessaire. L'apposition de dentine tertiaire en cas d'agression pulpaire se fait, quant à elle, dans les zones se trouvant en regard de l'agression [46].

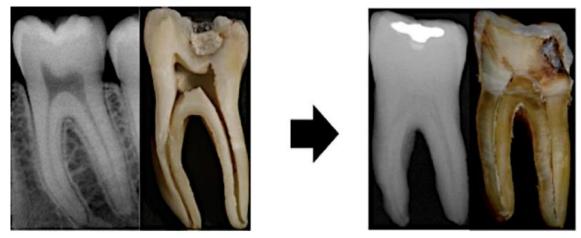


Figure 2 : Dent à pulpe large (gauche) et à pulpe minéralisée (droite). La minéralisation complique fortement la visibilité et l'accès au système canalaire.

Courtoisie du Dr A.Gambiez.

### 2.2.3 Formation de pulpolithes

Les minéralisations intra-pulpaires ou pulpolithes peuvent également être retrouvés dans la pulpe. Ils se situent dans la région coronaire ainsi que dans la pulpe radiculaire [18]. Leur taille peut varier de 50 µm de diamètre à plusieurs millimètres, obstruant totalement l'accès aux canaux radiculaires [18]. La formation de pulpolithes au sein de l'organe dentaire est encore aujourd'hui le sujet de nombreuses études car leur origine reste incertaine.

Il existe plusieurs types de minéralisations, décrites en ces termes [18] :

- les vrais pulpolithes : corps entièrement faits de dentine et entourés d'odontoblastes,
- les faux pulpolithes : formés de cellules dégénératives s'étant minéralisées,
- les pulpolithes libres : n'étant pas rattachés à la paroi camérale et entourés de tissus mous,
- les pulpolithes adhérents : se trouvant au contact intime de la paroi camérale.

### 2.2.4 Difficultés provoquées par la minéralisation en endodontie

### La cavité d'accès

Lors de la réalisation de la cavité d'accès, la recherche du système canalaire est compliquée par la minéralisation pulpaire. La diminution de la lumière canalaire peut réduire la sensation de « vide pulpaire » [38]. Ceci augmente le risque de délabrement excessif lors de la localisation des entrées canalaires, pouvant aller jusqu'à la perforation et la perte de la dent. Le délabrement est alors plus souvent retrouvé en direction vestibulaire sur les dents du bloc incisivo-canin maxillaire, mais également en direction apicale sur les dents pluriradiculées [31]. Tout cela réduit la résistance mécanique de la dent et peut donc compromettre son pronostic à long terme [44].

### • La perméabilité

Une fois l'entrée canalaire localisée, la perméabilité doit être obtenue de l'entrée du canal jusqu'au foramen apical (aussi appelé « glide-path »). Cependant, les instruments manuels sont fins et manquent de rigidité, ce qui ne leur permet pas d'avoir une efficacité de coupe suffisante dans les espaces canalaires réduits. Des fractures de ces instruments peuvent être observées, en cas de contraintes verticales excessives [38]. Aujourd'hui, des limes de préélargissement en nickel-titane de faible diamètre permettent de réduire ce risque. Lorsque le canal est minéralisé, l'obtention de la perméabilité est plus complexe. En effet, les instruments engainés peuvent se diriger dans une direction différente de celle du canal, et générer des butées et des fausse-routes, voire une perforation radiculaire.

Afin de pallier ces difficultés, la dent minéralisée doit être traitée de manière spécifique. Les nouvelles technologies apportent des outils prometteurs pour faciliter le recouvrement de la perméabilité canalaire.

### 2.3 Prise en charge de la dent minéralisée

L'analyse préopératoire est cruciale dans le traitement de la dent minéralisée. En effet, il est important d'apprécier les facteurs à l'origine de la minéralisation pour anticiper les difficultés et choisir les techniques les plus adaptées en conséquence.

Le cliché radiographique préopératoire permet de visualiser le système canalaire, la taille de la chambre pulpaire, l'épaisseur de dentine au niveau du plancher ainsi que du plafond pulpaire, et un possible rétrécissement de la lumière canalaire. Une radiographie à incidence décentrée peut aider à localiser des canaux non-visibles sur un cliché d'incidence orthocentrée, mais également d'éventuelles minéralisations.

L'imagerie tridimensionnelle par tomographie volumique à faisceau conique (aussi dite CBCT) est une aide précieuse au diagnostic. Cette technique élimine les superpositions liées à l'imagerie bidimensionnelle et met en évidence des canaux très réduits (Figure 3) [45].

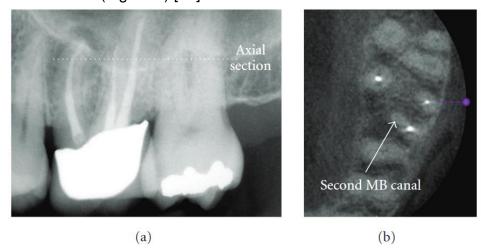


Figure 3 : Mise en évidence d'un canal MV2 (b), non visible sur la radiographie rétro-alvéolaire (a) [45].

La bonne visualisation du système canalaire est l'une des clés de la prédictibilité du traitement. Des aides visuelles (loupes, téléloupes, microscope) sont indispensables pour mieux appréhender l'endodontie de la dent minéralisée.

### 2.3.1 Accès conventionnel sous aides optiques

Les aides optiques permettent d'augmenter la précision des actes chirurgicaux ainsi que la qualité des traitements [28], notamment pour l'accès à la chambre pulpaire, la différentiation des couleurs dentinaires et la localisation des entrées canalaires. Elles améliorent également l'ergonomie en offrant une position de travail naturelle et optimisée [37], ce qui réduit les risques de troubles musculosquelettiques du praticien (Figure 4). De plus, elles préservent de la fatigue visuelle tout en augmentant la vitesse d'exécution de l'acte. Elles ont aussi leur rôle à jouer dans la confirmation d'un diagnostic précédemment posé, comme la présence de micro-fractures ou de canaux accessoires non traités.

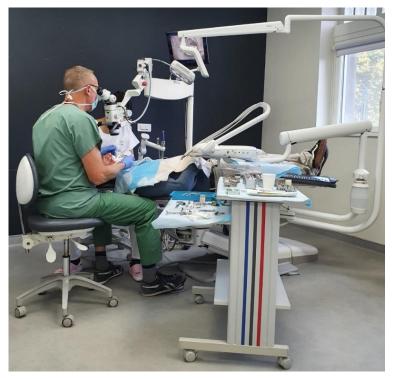


Figure 4 : Praticien utilisant un microscope opératoire (Illustration personnelle).

L'accès conventionnel de la dent minéralisée sous aides optiques nécessite une instrumentation spécifique comme des fraises long-col de faible diamètre ou encore des inserts ultra-sonores travaillants. Ceux-ci permettent d'éliminer sélectivement les obstacles jusqu'aux canaux radiculaires. L'expérience du praticien et son habitude à gérer ce type de situation jouent un rôle majeur dans le pronostic [35].

### 3. Guides d'accès endodontiques statiques

Récemment, des techniques numériques et de CFAO ont été transposées de l'implantologie à l'endodontie pour faciliter la localisation des entrées canalaires et réduire le risque iatrogène. Les guides d'accès endodontiques statiques orthogrades réalisés par CFAO (similaires aux guides chirurgicaux d'implantologie) permettent de positionner avec précision les instruments lors de l'étape de la cavité d'accès et de retrouver plus facilement la perméabilité canalaire.

Les données d'un CBCT sont superposées avec celles d'une empreinte optique pour fournir un volume tridimensionnel virtuel dans lequel un forage est planifié. Un foret virtuel est conçu pour atteindre la lumière canalaire selon un axe idéal (Figure 5,6). Un guide d'accès statique muni d'une douille est alors modélisé (Figure 7), mis en forme par technique additive, puis mis en place sur l'arcade du patient. Un foret endodontique de faible diamètre est ensuite placé dans la douille et utilisé pour retrouver la lumière canalaire [30].



Figure 5 : Coupe CBCT antéro-postérieure d'une incisive (11) avec une parodontie apicale et oblitération du canal pulpaire jusqu'au tiers apical [30].



Figure 6 : Un foret virtuel est positionné pour retrouver la perméabilité canalaire selon un axe idéal dans un logiciel de planification [30].

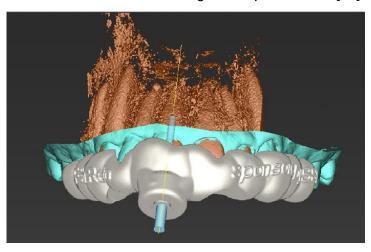


Figure 7: Modélisation du guide d'accès virtuel [30].

Placé en bouche sur champ opératoire étendu, un point d'accès amélaire est ensuite marqué sur la couronne de la dent avec le guide d'accès en place (Figure 8) [2]. Le forage dentinaire est alors réalisé jusqu'à la longueur de travail préalablement mesurée durant la planification.





Figure 8 : Mise en place du guide endodontique sur le champ opératoire (à droite) et vue de la cavité d'accès après localisation de l'entrée canalaire (à gauche) [30].



Figure 9 : Radiographie rétro-alvéolaire préopératoire (gauche) et post-opératoire (droite) [30].

Il a été démontré que ces guides sont efficaces dans le cadre du traitement de dents minéralisées [48]. Ils doivent permettre d'accéder au système canalaire tout en préservant l'économie tissulaire par rapport à l'accès endodontique conventionnel [10]. Connert et coll. [13] ont montré que les guides sont un moyen d'accès précis, suivant fidèlement l'axe planifié, à peu de risque de fracture instrumentale. Ils améliorent la prédictibilité des résultats en diminuant la durée de traitement endodontique, tout en amoindrissant l'influence du praticien sur la finalité du traitement [10] (recouvrement ou non de la perméabilité canalaire).

Dans la littérature, de nombreuses études ont mis en œuvre l'utilisation des guides endodontiques statiques [10,13,34]. Une étude réalisée par Buchgreitz et coll. [5] a eu comme résultat l'obtention de la perméabilité canalaire et la réussite du traitement endodontique sur chacune des 50 dents incluses dans l'étude grâce aux guides endodontiques statiques. Cependant, il existe peu de données dans la littérature prouvant la fiabilité du processus en conditions cliniques [40].

De plus, le guide prend appui sur les dents adjacentes aux dents à traiter, ce qui implique une excellente stabilité pour éviter toute imprécision ou déviation de l'axe du foret. Il faut alors prendre en compte le nombre de dents support, la morphologie de celles-ci, mais également le type et l'épaisseur de résine du guide [2]. Par ailleurs, ces guides sont parfois épais et encombrants, les rendant plus difficiles à utiliser pour le traitement des dents postérieures. Le guide réduit l'accès visuel au site opératoire, et le retrait de celui-ci peut être nécessaire afin de contrôler l'axe lors du forage. Enfin, la résolution du CBCT, de l'empreinte optique, la superposition des modèles et la fabrication par technique additive sont susceptibles d'avoir un impact sur la sécurité du forage en provoquant des déviations à l'origine de délabrements iatrogènes [2].

Tableau 1 : Intérêts et limites des guides endodontiques statiques pour l'accès orthograde

racces ortnograde						
	Intérêts		Limites			
		-	Nécessite une étape de laboratoire			
- Economie tissulaire [10],			[29],			
- Faible dévi	ation par rapport à	-	Risque d'imprécisions liées à			
l'axe cho	isi lors de la		l'impression et à la polymérisation			
planification [13],			du guide [2,34],			
- Faible ris	que de fracture	-	Nécessite une grande stabilité du			
instrumentale [13],			guide sur les dents adjacentes [29],			
- Diminution	de la durée du	-	Déviation possible du forage [10],			
traitement	endodontique au	-	Difficultés de traitement des dents			
fauteuil [10]	,		postérieures dues à			
- Diminution	de l'influence de		l'encombrement [10],			
l'opérateur	[13].	-	Réduction de la visibilité du site opératoire [47].			

Aucun consensus sur l'utilisation des guides endodontiques statiques n'existe à ce jour et cette technologie est encore le sujet de nombreuses études. Par ailleurs, l'évolution de l'utilisation du CBCT ainsi que la démocratisation de la chirurgie guidée par ordinateur ont permis de donner de nouvelles perspectives à l'endodontie guidée.

### 4. La navigation dynamique pour l'accès endodontique orthograde

### 4.1 Principes

La robotique médicale a vu le jour au début des années 1980, notamment dans le domaine de la neurochirurgie, sous forme de robotique active. L'opérateur est alors le robot, assisté par un logiciel de navigation. La navigation dynamique est quant à elle une robotique dite passive. C'est une technique d'assistance peropératoire permettant de suivre la position et l'orientation des instruments utilisés en temps réel. En chirurgie dentaire, la navigation dynamique a vu le jour en 2001 grâce au système RoboDent® [1], qui reposait sur trois éléments :

- une imagerie préopératoire (CBCT) du site chirurgical,
- un système de navigation capable de situer l'instrumentation utilisée par rapport au site chirurgical,
- un logiciel qui couple ces informations au cours de l'acte.

La navigation dynamique laisse le chirurgien-dentiste maître de l'acte chirurgical.

Il fut le premier système de navigation mis sur le marché, à visée implantaire [7].

### • Le système RoboDent®

Le système RoboDent était un système de navigation dynamique guidé pouvant suivre la position d'un foret par rapport à l'arcade du patient pour sécuriser l'emplacement et l'axe du forage du logement implantaire. La localisation de la pièce à main et du référentiel patient était déterminée par une caméra infra-rouge. Une gouttière radio-opaque était fabriquée en se basant sur le wax-up du projet prothétique implantaire. Puis, la gouttière munie de l'arc de navigation était placée sur le patient (Figure 10). Un examen tomodensitométrique était réalisé, arc en bouche. Un logiciel permettait alors d'assurer la planification implantaire.



Figure 10 : Mise en place de la gouttière radio-opaque sur le patient [1].

Lors de l'intervention chirurgicale, ce même logiciel guidait le praticien qui observait l'écran d'un ordinateur pour effectuer les forages et anguler correctement la pièce à main (Figure 11). En effet, une caméra dite télémétrique reliée au moniteur avait pour rôle de mesurer la distance entre la source et les traqueurs optiques (l'arc patient et l'instrumentation rotative). Pour se faire, les rayons infra-rouges se réfléchissaient sur des sphères de titane placées sur les traqueurs optiques (Figure 12) [1].

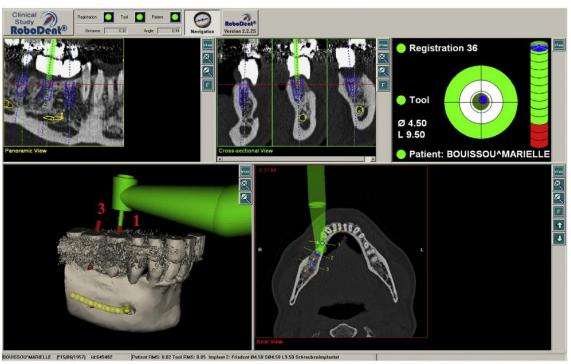


Figure 11: Ecran de navigation du logiciel Robodent [1].





Figure 12 : Vue des traqueurs optiques, sur le patient et sur l'instrumentation rotative (à gauche), ainsi que du chariot portant la caméra télémétrique (à droite) [1].

Cependant, ce système ne permettait pas une visualisation assez fine des structures anatomiques et de la réalité clinique. En effet, il utilisait des images tridimensionnelles trop peu précises issues du Dentascan. De nos jours, il n'est plus commercialisé [7].

### Les nouveaux systèmes de navigation dynamique

Récemment, les évolutions technologiques ont permis le développement de nouveaux systèmes de navigation dynamique assistée par ordinateur. Ils fonctionnent sur le même principe que Robodent, avec une précision augmentée, grâce à l'essor des techniques d'imagerie tridimensionnelles de haute précision, et notamment le CBCT (par exemple, le système X-Guide® (X-Nav Technologies) [39] ou encore le système Navident (Claronav)).

En 2019, Chong et coll [8] ont été les premiers à publier une application endodontique de la navigation guidée pour la cavité d'accès et la localisation des entrées canalaires, via le système Navident. Les auteurs ont traité 29 dents humaines *ex-vivo*, monoradiculées et pluriradiculées. La perméabilité canalaire a été retrouvée sur 41 des 46 canaux étudiés, ce qui a ouvert la voie à de nouvelles perspectives de traitement de la dent minéralisée.

# 4.2 Protocole pour un accès endodontique guidé par navigation dynamique (Navident)

Plusieurs systèmes de navigation dynamique existent en ce moment sur le marché, avec des principes de fonctionnement similaires au système Navident® Pour cette raison, seul ce dernier sera développé dans ce paragraphe.

Le système Navident nécessite [29]:

- un traqueur optique monté sur un contre-angle (Figure 16),
- <u>un traqueur optique patient</u> monté sur la mandibule (« JawTracker » pour les dents mandibulaires, Figure 13B), ou autour de la tête (« HeadTracker » pour les dents maxillaires, Figure 13A). Ces traqueurs utilisent la technologie de « Trace Registration », pour suivre la position et les mouvements du patient et ainsi faire correspondre les données numériques (CBCT) avec celles du patient. Pour cela, un nuage de points est tracé par le praticien sur 3 à 6 structures fixes de l'arcade dentaire (dents, restaurations), grâce à un outil de traçage fourni (Figure 13C) et préalablement calibré grâce à un calibrateur (Figure 14,15) [22].

Un second système de traqueurs optiques patient existe : le Navistent. C'est un traqueur physique monté sur une clé repositionnable avec précision, qui doit alors être créé par le praticien pour être mis en bouche lors de l'enregistrement du CBCT. Il doit être replacé lors de l'opération, permettant le calibrage du logiciel avec les mouvements du patient.

- <u>le chariot opérationnel</u> avec une caméra stéréoscopique, capable de localiser la position d'un objet donné dans les 3 plans de l'espace, et un ordinateur disposant du logiciel de navigation (Navident Treatment Planning Software).

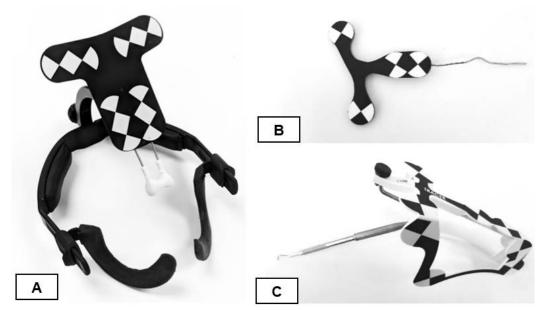


Figure 13 : Traqueurs optiques : HeadTracker (A), JawTracker (B), Outils de traçage (C) [22].



Figure 14 : Calibrateur utilisé lors du processus de «Trace Registration »[9].

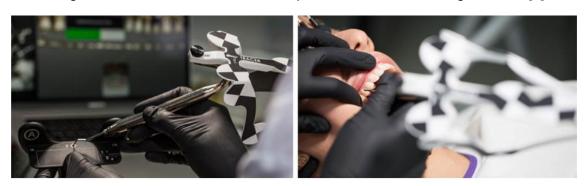


Figure 15 : Calibrage de l'outil de traçage grâce au calibrateur (à gauche) et réalisation de la « Trace Registration » (à droite) [49].



Figure 16 : Traqueur optique monté sur la pièce à main [49].

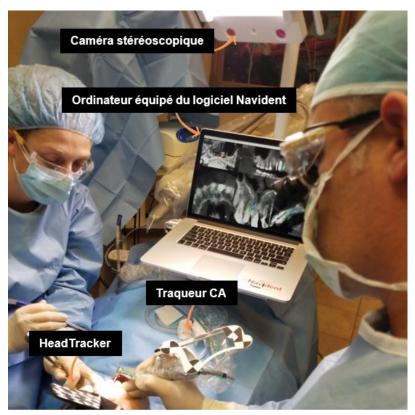


Figure 17 : Plateau technique pour un forage dynamique à l'aide du système Navident [9].

### • Etapes préliminaires

- Acquisition d'une image CBCT préopératoire de l'arcade du patient. Si le système Navistent est choisi, la clé doit être positionnée lors de l'acquisition. Un CBCT sans traqueur optique suffit lors de l'utilisation du système de « Trace Registration ».
- Planification du traitement endodontique de la dent concernée grâce au logiciel de planification Navident : choix de l'axe de forage afin d'atteindre les entrées canalaires et sélection du diamètre minimal de forage (1 mm au maximum).
- Calibrage tridimensionnel du patient :

### Avec la « Trace Registration »:

- Positionnement du HeadTracker autour de la tête du patient, ou du JawTracker fixé la mandibule grâce à une résine composite.
- Calibrage de l'outil de traçage grâce au calibrateur. (Figure 14).

- Passage de l'outil de traçage sur la surface de plusieurs dents pour créer le nuage de points.
- Contrôle du bon positionnement de l'outil de traçage sur le logiciel dans les 3 plans de l'espace.

### Avec le Navistent :

- Repositionnement de la clé en bouche, là où elle se trouvait lors de l'enregistrement du CBCT.

### -Calibrage du contre-angle :

### Avec la « Trace Registration »:

- Installation du traqueur optique sur le contre-angle
- Calibrage de l'axe, en enfonçant la tête du contre-angle sur une tige située sur le calibrateur et en effectuant des mouvements de rotation.
- Calibrage de la pointe du foret en le positionnant sur une cible située sur le calibrateur.
- Contrôle visuel du positionnement dans les 3 plans de l'espace (correspondance axe réel axe mesuré sur l'ordinateur).

### Avec le Navistent :

- Les étapes sont similaires au système « Trace Registration » mais le calibrateur est positionné directement sur le Navistent (Figure 18).
- Mise en place de la digue. Celle-ci ne doit pas interférer avec le traqueurpatient.



Figure 18 : Calibrage du contre-angle grâce au Navistent [6].

### Forage

- Forage suivant l'axe choisi lors de l'étape de planification du traitement endodontique (Figure 19). La caméra suit les traqueurs optiques, et doit donc avoir une vision large du champ opératoire. Durant le forage, le praticien doit aligner la tête du contre-angle et la pointe du foret dans le centre de la cible affichée par le logiciel (Figure 20).

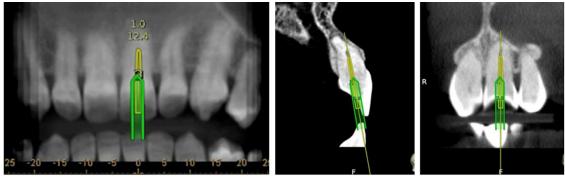


Figure 19 : Affichage de l'axe de forage dans le logiciel pour le traitement d'une 21 [49].

Axe planifié (jaune), axe de forage en cours (vert).

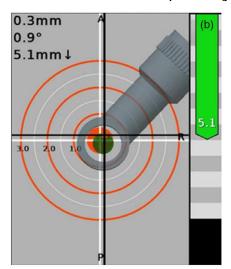


Figure 20 : Cible opératoire affichée par le logiciel [49].

La barre verte (à droite) correspond à la profondeur de forage. Les valeurs en haut à gauche correspondent à la déviation absolue de la pointe du foret, à l'angle de déviation et à la profondeur de forage par rapport au forage planifié.

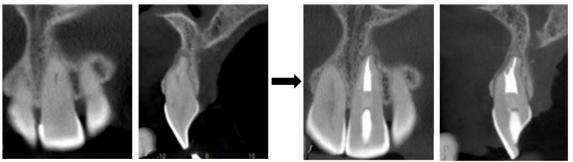


Figure 21 : Coupe frontale et sagittale préopératoire (à gauche), coupe frontale et sagittale post-opératoire [49].

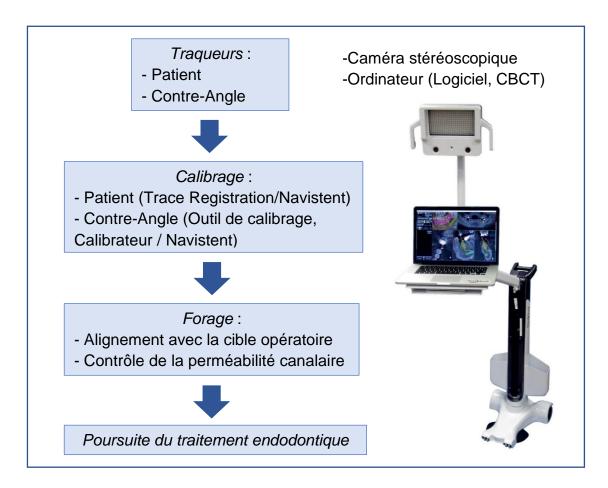


Figure 22 : Déroulement de la navigation dynamique guidée en endodontie à l'aide du système Navident.

### 5. Discussion

L'utilisation de la navigation dynamique pour l'accès endodontique orthograde dans le cadre du traitement de la dent minéralisée présente plusieurs intérêts, mais également des risques à considérer. Cette technique doit être comparée à l'accès guidé statique ainsi qu'à l'accès conventionnel, dans le but de permettre aux praticiens de choisir la méthode la plus adaptée, dans l'intérêt de leurs patients.

### 5.1 Taux de succès

De nombreux auteurs ont cherché à mesurer le taux de succès de recouvrement de la perméabilité canalaire suite à l'utilisation de guides endodontiques statiques et de la navigation dynamique en endodontie.

Connert et coll. [10] ont montré que l'accès guidé statique permettait de retrouver la perméabilité canalaire et d'obtenir un meilleur taux de succès par rapport à l'accès conventionnel (91,7% avec les guides statiques, contre 41,7% avec l'accès conventionnel) [10]. Dans cette étude, l'utilisation de dents imprimées en 3D explique le faible taux de succès de l'accès conventionnel selon les auteurs. De plus, le modèle utilisé, de par la morphologie et la mobilité résiduelles des dents dans la résine, a pu diminuer les chances de succès de l'accès guidé statique. D'autres auteurs ont montré un taux de succès de 100% en utilisant ce dernier [12,46].

Concernant la navigation dynamique, une étude de Dianat et coll. [15] a montré que les canaux de dents minéralisées étaient localisés dans 96,6% des cas avec la navigation dynamique, contre 83,3% des cas avec l'accès conventionnel. De plus, les 5 échecs du groupe utilisant l'accès conventionnel

ont amené à une perforation. Le taux de succès de la navigation dynamique semble donc être meilleur que celui de l'accès conventionnel.

Zubizarreta et coll. [51] ont obtenu dans une étude sur 30 dents monoradiculées, un meilleur taux de succès avec l'accès guidé statique (100%) qu'avec l'accès conventionnel (70%). Ils n'ont cependant pas mis en évidence de différence entre l'accès guidé statique et la navigation dynamique. Toutefois, cette étude comporte un faible effectif (n=10/groupe), et l'imagerie tridimensionnelle utilisée est de faible résolution (300 µm pour l'arcade complète). Or, une étude interne récente (résultats non publiés) a montré que la résolution du CBCT influence la déviation du forage des guides statiques. Il est donc difficile de tirer des conclusions comparatives entre les 2 techniques de guidage pour l'accès endodontique, et il est nécessaire de réaliser des études complémentaires dans ce domaine.

Les guides statiques sont complexes à mettre en œuvre pour le traitement des dents postérieures du fait de leur encombrement en bouche [12,34]. Un rapport de cas [36] a montré la possibilité d'utilisation des guides statiques pour le traitement de 2e prémolaires et de 1eres molaires maxillaires. Cependant, Jain et coll. ont écrit avoir abandonné une étude pilote sur les guides statiques pour l'accès endodontique des dents postérieures, suite au manque d'espace nécessaire pour positionner le foret dans la douille [23]. Une dent postérieure serait donc plus simple à traiter par navigation dynamique que par accès guidé statique, suite à l'absence de guide chirurgical, plus particulièrement lorsque l'ouverture buccale est limitée [51].

Torres et coll. (2021) [47] ont démontré qu'il est possible de traiter des dents antérieures et postérieures par la navigation dynamique. Dans leur étude, 156 des 168 canaux traités sur des incisives, canines, prémolaires et molaires

maxillaires et mandibulaires ont été correctement localisés, avec un taux de succès de 93%. Cependant, cette étude a également montré une déviation moyenne à la pointe plus importante sur les dents postérieures que sur les dents antérieures (0,57 mm sur les incisives, 0,8 mm sur les molaires). Les auteurs l'expliquent par une maniabilité réduite des forets dans les secteurs postérieurs.

De même, les seuls échecs rapportés par Chong et coll. [8] étaient sur des dents postérieures. Ces auteurs expliquent cet échec non pas par une difficulté liée à la localisation de la dent mais par un problème de « tracking » de la navigation dynamique pendant le forage. Des études sont donc nécessaires pour étudier ce point.

L'accès guidé endodontique sur dents pluriradiculées est également intéressant à prendre en compte. En effet, si un accès guidé statique doit être mis en place sur plusieurs canaux, un guide par canal devra être réalisé, en raison de l'impossibilité de positionner 2 douilles avec des axes différents au même emplacement. Dans ces cas, il est préférable de sélectionner la navigation dynamique qui permet de programmer plusieurs axes distincts sur la même dent lors de l'étape de planification [47]. Ceci permet de réduire les étapes de laboratoire, d'essayage, les coûts et le temps total.

### 5.2 Facteurs influençant les risques opératoires

Le traitement de la dent minéralisée présente un risque iatrogène de par l'accès et la visibilité réduits lors de la tentative de recouvrement de la perméabilité canalaire. Les techniques de guidage en endodontie doivent faciliter l'accès tout en réduisant ce risque par rapport à un accès conventionnel. Cependant, ces techniques montrent systématiquement une déviation entre le forage planifié et le forage réalisé [13,23,47,50].

Concernant l'accès guidé statique, il existe une grande variation des valeurs d'angle de déviation entre les études (1,59°[13], 1,81°[50], 10,04°[51]). Cela s'explique par une différence de méthodologie, une diversité des modèles [10], la résolution de fabrication des guides par technique additive, une variation dans le protocole de planifications (empreintes chimiques/optiques) [4] et les modifications dimensionnelles liées à la polymérisation du guide [41]. Une étude récente (résultats non publiés) a également montré que la résolution du CBCT et de la fabrication des guides statiques par technique additive influencent la déviation [16,34,41].

Concernant la navigation dynamique, dans une étude sur 138 canaux, Jain et coll. [23] ont obtenu une valeur moyenne d'angle de déviation de 1,7°, celle-ci étant plus importante au niveau des dents postérieures (non traitées par les guides statiques). Dans l'étude de Torres et coll. [47] traitant 168 canaux, 12 échecs ont été recensés et la valeur moyenne d'angle de déviation est de 2,81°, (déviation des dents du bloc incisivo-canin : 2,68°; déviation des molaires : 3,01°). Il existe plusieurs risques liés aux spécificités de la navigation dynamique pouvant amener à une déviation de l'axe de forage : la présence d'artefacts radiologiques sur le CBCT, tout comme une erreur de planification ou de calibrage du foret [25]. De plus, un défaut d'adaptation lors de l'installation des traqueurs ou un mouvement involontaire de ces derniers peuvent amener à des erreurs de positionnement qui sont susceptibles d'entrainer un échec du traitement [8]. La mobilité des dents porteuses du traqueur-patient (Navistent/JawTracker) ou encore de celles se situant sur le site opératoire peut également amener à un manque de précision [15].

Gambarini et coll. [17] ont observé une déviation par navigation dynamique (4,8°) inférieure à celle d'un accès conventionnel (19,2°) (n=10/groupe). Dianat

et coll [15] ont obtenu des résultats similaires (déviation de la navigation dynamique :2,39°; déviation de l'accès conventionnel :7,25°).

D'autre part, Zubizaretta et coll. [51] ont montré une déviation plus faible de la navigation dynamique (5,58°) comparée à l'accès guidé statique (10,04°) et à conventionnel (14,95°). Cependant, l'accès pour les raisons vues précédemment, et notamment la faible résolution de l'imagerie tridimensionnelle, il est difficile de tirer des conclusions de cette étude qui présente des valeurs très élevées. Par ailleurs, ces résultats sont en contradiction avec la plupart des valeurs quantitatives de déviation menées antérieurement [13,50]. Il parait donc raisonnable d'émettre l'hypothèse que les guides statiques provoquent moins de déviation que la navigation dynamique. Mais cette hypothèse doit être validée par une étude comparative à grande échelle. Dans tous les cas, la navigation dynamique semble plus sécurisante que l'accès conventionnel.

Concernant le délabrement provoqué par l'accès guidé statique, Connert et coll. [10] ont montré que l'accès conventionnel est moins économe en tissus. En effet, la perte de substance moyenne avec l'accès conventionnel (49,9 mm³) est plus importante que celle résultant de l'accès guidé statique (9,8 mm³).

La navigation dynamique est également moins délabrante que l'accès conventionnel [11,24]. Connert et coll. [11] ont obtenu une perte de substance moyenne de 10,5 mm³ avec la navigation dynamique contre 29,7 mm³ avec l'accès conventionnel. Jain et coll. [24] ont quant à eux démontré une perte de substance de 27,2 mm³ contre 40,7mm³ avec l'accès conventionnel. Enfin, Torres et coll. [47] ont atteint une perte de substance moyenne de 20,95 mm³ en utilisant la navigation dynamique. Cette différence de valeurs peut être expliquée par le degré de liberté opératoire laissé par la navigation dynamique, les petites

corrections apportées par l'opérateur durant le forage, ou encore le diamètre de forage utilisé qui varie selon les études [47].

Il n'existe pas, à ce jour, d'étude comparant le volume des pertes de substance provoqué par l'accès guidé statique et la navigation dynamique. Cependant, l'analyse précédente a montré un volume moyen de dentine éliminé plus faible par l'accès guidé statique que par la navigation dynamique.

Contrairement à l'accès guidé statique, la navigation dynamique donne à l'opérateur une vision directe du champs opératoire et de la dent à traiter [47]. Cela offre la possibilité de relocaliser le forage et d'effectuer de possibles corrections d'axe en temps réel [29,51]. De plus, la navigation dynamique supprime l'étape de production d'un guide statique, ce qui élimine la possibilité de biais de fabrication. Par ailleurs, l'absence de guide statique permet une meilleure irrigation du site opératoire, ce qui réduit les risques de surchauffe [29]. Des études complémentaires sont à mener dans ce domaine, afin de comparer les risques opératoires inhérents à ces techniques d'endodontie guidée.

### 5.3 Durée de traitement

Les techniques d'accès conventionnel dans le cadre du traitement de dents minéralisées sont parfois assez chronophages, le praticien essayant d'être le moins iatrogène possible lors de la recherche de la lumière canalaire [27]. Les techniques d'endodontie guidées doivent permettre de diminuer le temps de traitement tout en diminuant les risques opératoires.

L'accès guidé statique nécessite un temps de préparation préopératoire important. Celui-ci comprend la réalisation du CBCT, la prise d'empreinte numérique ou chimique numérisée, la conception, et la fabrication du guide (qui

est souvent confiée au laboratoire). Dans une étude, Connert et coll. [13] ont enregistré un temps de préparation préopératoire moyen de 10 minutes et 13 secondes (de la numérisation du modèle à l'installation du guide en bouche) et un temps de forage moyen de 30 secondes, amenant la durée totalement du recouvrement de la perméabilité canalaire à 10 minutes et 43 secondes. A cela s'ajoute le temps dédié à la poursuite du traitement endodontique.

Dans une autre étude de Connert et coll. [10], le temps moyen de traitement au fauteuil avec l'accès guidé statique (11 minutes et 18 secondes) est inférieur à celui de l'accès conventionnel (21 minutes et 48 secondes). L'utilisation d'un guide statique permet de de diminuer le temps de recherche de la lumière canalaire, ce qui diminue la durée totale du traitement. Il faut cependant noter que l'étape de laboratoire, souvent nécessaire lors de la création du guide, rallonge la durée de planification. Ceci n'a pas été pris en compte dans ces études.

La navigation dynamique comprend moins d'étapes préopératoires que l'accès guidé statique. Elle nécessite une acquisition de l'imagerie tridimensionnelle, une étape de planification, puis l'installation des différents traqueurs et leur calibrage de ceux-ci. La durée de réalisation de ces étapes n'a cependant pas été étudié. Claronav annonce un temps moyen d'installation grâce à la technique de « Trace Registration » de 2 à 3 minutes pour un praticien entrainé [9]. Là encore, des études sont à entreprendre afin de considérer le temps requis pour l'ensemble des étapes depuis la planification jusqu'au recouvrement de la perméabilité canalaire.

Jain et coll. [24] ont obtenu un temps moyen de recouvrement de la perméabilité avec la navigation dynamique (2 minutes 7 secondes) plus faible qu'avec l'accès conventionnel (7 minutes 5 secondes). Dianat et coll. [15] ont

démontré des résultats similaires (Temps navigation dynamique : 3 minutes 47 secondes ; temps accès conventionnel : 6 minutes 45 secondes). Ces études tendent à montrer que la navigation dynamique diminue le temps de traitement par rapport à l'accès conventionnel.

En comparant ces valeurs, il est possible de supposer que la navigation dynamique est plus rapide à mettre en œuvre que l'accès guidé statique, qui est lui-même moins chronophage que l'accès conventionnel. Cependant, la différence entre les modèles utilisés dans ces études et l'expérience des opérateurs rendent ces résultats difficilement comparables. Des études complémentaires sont à mettre en place à ce sujet.

Toutefois, grâce aux nouvelles avancées de la navigation dynamique, un seul rendez-vous permet : d'acquérir le CBCT, de préparer le patient et de réaliser le forage. Il n'est pas nécessaire d'avoir recourt à une étape d'empreinte et d'envoi au laboratoire, contrairement à l'accès guidé statique [29].

#### 5.4 Expérience de l'opérateur

Connert et coll. [10] ont montré qu'un praticien expérimenté obtient un meilleur taux de succès et un temps de traitement plus faible avec l'accès conventionnel par rapport à un praticien moins expérimenté. L'accès guidé statique permet de réduire cet écart. On peut donc en conclure que l'accès guidé statique est moins praticien-dépendant que l'accès conventionnel, améliorant la prédictibilité du traitement.

Concernant la navigation dynamique, Connert et coll. [11] ont démontré que celle-ci est praticien-dépendante. Elle nécessite une période d'apprentissage [15,26] et un entrainement rigoureux, tant sur la technique que sur la coordination

ceil-main [47]. Le praticien doit fixer attentivement l'écran d'ordinateur pour faire correspondre la tête du contre-angle avec la cible affichée par le logiciel, sans regarder ses mains [23,51]. Block et coll. [3], en implantologie, ont montré qu'il fallait traiter une vingtaine de cas avec la navigation dynamique avant d'obtenir les mêmes résultats qu'un praticien expérimenté. Par ailleurs, Torres et coll. [47] n'ont pas montré de différence de succès avec la navigation dynamique entre trois opérateurs de niveaux d'expérience différents (étudiant en dernière année de chirurgie dentaire, endodontiste avec 5 ans d'expérience, et endodontiste avec 30 ans d'expérience) après s'être entraîné sur 28 dents. Ces auteurs soulignent la nécessité d'une phase d'apprentissage à la navigation dynamique pour compenser la différence de niveau d'expérience entre des praticiens [47]. Ce lissage rapide de différence de niveau d'expérience est impossible avec l'accès conventionnel [11] qui dépend directement de l'expérience du praticien.

Bien que la navigation dynamique soit praticien-dépendante, des résultats similaires peuvent être obtenus par un praticien expérimenté ou non après une période d'apprentissage. De plus, grâce aux techniques d'endodontie guidée statique et dynamique, même un praticien expérimenté peut obtenir un meilleur taux de succès qu'avec l'accès conventionnel [10,11].

### 5.5 Coût

Le coût financier de l'utilisation d'un système d'accès guidé est plus élevé que celui de l'accès conventionnel, puisqu'il nécessite une étape de laboratoire pour la création du guide (et donc un 2<sup>e</sup> rendez-vous, environ 150 € par guide), une étape de planification plus ou moins longue, un temps d'essayage du guide et de pose d'une digue étendue sur toute l'arcade [29].

Le coût d'achat d'un système de navigation dynamique reste l'un des principaux freins à l'utilisation de ce dernier (environ 37.000,00 €). Les traqueurs non stérilisables doivent parfois être jetés entre les opérations, et donc rachetés (environ 50,00 € par traitement). De plus, l'entretien du matériel, la maintenance et les différentes mises à jour doivent être pris en compte dans ce calcul financier. Il pourra tout de même être noté que le coût par opération semble moindre sur la durée une fois le dispositif amorti avec le système de navigation dynamique par rapport à l'accès statique. En effet, le coût des étapes de laboratoire est ici supprimé, et toutes les étapes peuvent se faire dans la même séance [29].

# 5.6 Tableau récapitulatif

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des techniques d'accès guidé en endodontie.

	Accès guidé statique Navigation dynamique				
		uidé statique			
Succès	>accès conventionnel	Inconvénients	Avantages >accès conventionnel	Inconvénients	
Déviation	<accès conventionnel [51]</accès 		<accès conventionnel<="" th=""><th></th></accès>		
Perte de substance	<accès conventionnel</accès 		<accès [24]<="" conventionnel="" th=""><th>-Opérateur dépendant [47],</th></accès>	-Opérateur dépendant [47],	
Utilisation clinique	-Moins opérateur dépendant [10],	-Influencé par la résolution du CBCT, -Modifications liées à la polymérisation du guide [2], -Nécessite l'installation d'une digue étendue sur l'arcade complète [29],	-Vision directe du champ opératoire [47], -Elimine les biais de fabrication du guide, -Meilleure irrigation du site [29], -Moins de risque de surchauffe [29],	-Artefacts radiologiques pouvant être source d'erreur [25], -Possible mauvaise installation/stabilité des capteurs [8], -Erreur de calibrage du foret [25],	
Dents postérieures		-Difficile pour les dents postérieures (hauteur insuffisante) [34], -Nécessite 1 guide par canal,	-Possibilité de traiter les dents postérieures (absence de guide) [51], -Possibilité de traiter les patients à ouverture buccale limitée [51],		
Temps	-Temps au fauteuil < accès conventionnel	-Nécessite une étape de laboratoire et donc 2 rendez- vous [29],	<ul> <li>Temps au fauteuil &lt;         accès conventionnel [15],</li> <li>Pas d'étape de         laboratoire, peut être         réalisé en une seule         séance [29],</li> </ul>	-Temps d'installation du système,	
Expérience du praticien	-Non praticien- dépendant [10], -Prédictibilité > accès conventionnel [10],		-Lissage rapide des niveaux d'expérience entre les praticiens [47],	-Praticien-dépendant [11], -Période d'apprentissage [3],	
Coût		-Coût>accès conventionnel (temps de planification, coût CFAO/sous- traitance) [29].		-Coût>accès conventionnel (temps de planification, dispositif de navigation dynamique, entretien et maintenance) [29].	

## 6. Conclusion et perspectives

Les techniques d'endodontie guidées sont des alternatives thérapeutiques intéressantes dans le cadre des prises en charge extrêmes des dents minéralisées. Elles mènent à un meilleur taux de succès, ainsi qu'à une diminution de la déviation de l'axe de forage et de la perte de substance. Les guides endodontiques statiques limitent les risques iatrogènes mais augmentent le nombre de séances nécessaires ainsi que le coût de revient du traitement. La navigation dynamique est une technologie en cours de développement. Elle permet de traiter en une seule séance les dents antérieures et postérieures. Bien que prometteuse, elle nécessite une période d'apprentissage afin d'être utilisée correctement et un investissement initial conséquent.

Des études complémentaires sont à mettre en place afin de comparer les guides endodontiques statiques et la navigation dynamique (taux de succès de recouvrement de la perméabilité canalaire, économie tissulaire, déviation de l'axe de forage, durée de traitement).

# Table des illustrations

Figure 1 : Coupe transversale d'une molaire mandibulaire cariée dans la partie coronaire, permettant de visualiser la minéralisation réactionnelle de la dent face à une lésion carieuse (A Dentine tertiaire, B Dentine Secondaire, C Lésion carieuse)
Figure 3 : Mise en évidence d'un canal MV2 (b), non visible sur la radiographie rétro-alvéolaire (a) [45]
Figure 5 : Coupe CBCT antéro-postérieure d'une incisive (11) avec une parodontie apicale et oblitération du canal pulpaire jusqu'au tiers apical [30] 18 Figure 6 : Un foret virtuel est positionné pour retrouver la perméabilité canalaire selon un axe idéal dans un logiciel de planification [30]
Figure 9: Radiographie rétro-alvéolaire préopératoire (gauche) et post-opératoire (droite) [30]
Figure 13: Traqueurs optiques: HeadTracker (A), JawTracker (B), Outils de traçage (C) [22]
Figure 18 : Calibrage du contre-angle grâce au Navistent [6]
Figure 22 : Déroulement de la navigation dynamique guidée en endodontie à l'aide du système Navident

# **Table des Tableaux**

Tableau 1 : Intérêts et limites des guides endodontiques statiques pour l'	accès
orthograde	21
Tableau 2 : Avantages et inconvénients des techniques d'accès gui	dé en
endodontie	41

## Références Bibliographiques

- 1. Armand S, Legac O, Galibourg A. Implantologie dentaire assistée par ordinateur: intérêts de la navigation du système Robodent®. Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-faciale et de Chirurgie Orale. 2013;114:247–54.
- 2. Aubeux D, Gaudin A. Guides et Planification Endodontique. Réalités Cliniques. 2019;30:254–62.
- 3. Block MS, Emery RW, Lank K, Ryan J. Implant placement accuracy using dynamic navigation. The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants. 2017;32:92–9.
- Brown GB, Currier GF, Kadioglu O, Kierl JP. Accuracy of 3-dimensional printed dental models reconstructed from digital intraoral impressions. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2018;154:733–9.
- 5. 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. International Endodontic Journal. 2019;52:559–68.
- Burgess D. Dynamic navigation for reliable and predictable flapless implant placement. CAD/CAM International Magazine of Digital Dentistry. 2017;8:42–
   6.
- 7. Cecchetti F, Di Girolamo M, Ippolito DG, Baggi L. Computer-guided implant surgery: analysis of dynamic navigation systems and digital accuracy. Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents. 2020;34:9–17.
- Chong BS, Dhesi M, Makdissi J. Computer-aided dynamic navigation: a novel method for guided endodontics. Quintessence International. 2019;50:196– 202.
- 9. ClaroNav Inc [Internet]. Targeting Perfection with Navident. Navident ClaroNav Official Website. Consulted on 02.10.2022. Available from: https://www.claronav.com/navident/.
- 10. Connert T, Krug R, Eggmann F, Emsermann I, ElAyouti A, Weiger R, et al. Guided endodontics versus conventional access cavity preparation: a comparative study on substance loss using 3-dimensional–printed teeth. Journal of Endodontics. 2019;45:327–31.
- 11. Connert T, Leontiev W, Dagassan-Berndt D, Kühl S, ElAyouti A, Krug R, et al. Real-time guided endodontics with a miniaturized dynamic navigation system versus conventional freehand endodontic access cavity preparation: substance loss and procedure time. Journal of Endodontics. 2021;47:1651–6.
- 12. Connert T, Weiger R, Krastl G. Present status and future directions guided endodontics. International Endodontic Journal. 2022;00:1–8.

- 13. 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 Endodontics. 2017;43:787–90.
- 14. Dahan S. Facteurs prédictifs du succès des thérapeutiques endodontiques. Réalités Cliniques.2014;25:77-88.
- 15. Dianat O, Nosrat A, Tordik PA, Aldahmash SA, Romberg E, Price JB, et al. Accuracy and efficiency of a dynamic navigation system for locating calcified canals. Journal of Endodontics. 2020;46:1719–25.
- 16. Fonseca Tavares WL, de Oliveira Murta Pedrosa N, Moreira RA, Braga T, de Carvalho Machado V, Ribeiro Sobrinho AP, et al. Limitations and management of static-guided endodontics failure. Journal of Endodontics. 2022;48:273–9.
- 17. Gambarini G, Galli M, Morese A, Stefanelli LV, Abduljabbar F, Giovarruscio M, et al. Precision of dynamic navigation to perform endodontic ultraconservative access cavities: a preliminary in vitro analysis. Journal of Endodontics. 2020;46:1286–90.
- 18. Goga R, Chandler NP, Oginni AO. Pulp stones: a review. International Endodontic Journal. 2008;41:457–68.
- 19. Goldberg M. Histologie du complexe dentinaire. EMC Médecine buccale. 2016;11:1–24.
- 20. Goldberg M, Six N, Decup F, Bourd K, Palmier K, Salih E, et al. Minéralisation de la pulpe dentaire : apports de l'ingénierie tissulaire aux thérapeutiques de demain en odontologie. Pathologie Biologie. 2002;50:194–203.
- 21. Goldberg M, Smith AJ. Cells and extracellular matrices of dentin and pulp: a biological basis for repair and tissue engineering. Critical Reviews in Oral Biology & Medicine. 2004;15:13–27.
- 22. Henriques R. Dynamic navigation by innovative registration. Implants. 2018;2:38–41.
- 23. Jain SD, Carrico CK, Bermanis I. 3-dimensional accuracy of dynamic navigation technology in locating calcified canals. Journal of Endodontics. 2020;46:839–45.
- 24. Jain SD, Saunders MW, Carrico CK, Jadhav A, Deeb JG, Myers GL. Dynamically navigated versus freehand access cavity preparation: a comparative study on substance loss using simulated calcified canals. Journal of Endodontics. 2020;46:1745–51.
- 25. Jonaityte EM, Bilvinaite G, Drukteinis S, Torres A. Accuracy of dynamic navigation for non-surgical endodontic treatment: a systematic review. Journal of Clinical Medicine. 2022;11:34-41.
- 26. Jorba-García A, Figueiredo R, González-Barnadas A, Camps-Font O, Valmaseda-Castellón E. Accuracy and the role of experience in dynamic

- computer guided dental implant surgery: An in-vitro study. Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal. 2019;24:76–83.
- 27. Kiefner P, Connert T, ElAyouti 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. Gerodontology. 2017;34:164–70.
- 28. Kim S. Principles of endodontic microsurgery. Dent Clin North Am. 1997;41:481–97.
- 29. Kinariwala N, Samaranayake L. Guided endodontics. Springer Nature. Cham, Switzerland. 2020.
- 30. Krastl G, Zehnder M, Connert T, Weiger R, Kühl S. Guided endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology. Dental Traumatol. 2016;32:240–6.
- 31. Kvinnsland I, Oswald RJ, Halse A, Grønningsæter AG. A Clinical and roentgenological study of 55 cases of root perforation. International Endodontic Journal. 1989;22:75–84.
- 32. Lasfargues JJ, Colon P, Vanherle G, Lambrechts P. Odontologie conservatrice et restauratrice. Rueil-Malmaison, France: Editions CdP; 2009.
- 33. Linde A, Goldberg M. Dentinogenesis. Critical reviews in oral biology & Medicine. 1993;4:679–728.
- 34. Llaquet Pujol M, Vidal C, Mercadé M, Muñoz M, Ortolani-Seltenerich S. Guided endodontics for managing severely calcified canals. Journal of Endodontics. 2021;47:315–21.
- 35. Madarati AA, Watts DC, Qualtrough JE. Factors contributing to the separation of endodontic files. British Dental Journal. 2008;204:241–5.
- 36. Maia LM, de Carvalho Machado V, da Silva NRFA, Brito Júnior M, da Silveira RR, Moreira Júnior G, et al. Case reports in maxillary posterior teeth by guided endodontic access. Journal of Endodontics. 2019;45:214–8.
- 15. Mallet JP, Deveaux E. Aides visuelles en endodontie. Tiré de : Endodontie, Editions CDP. Paris, France. 2012.
- 38. McCabe PS, Dummer PMH. Pulp Canal obliteration: an endodontic diagnosis and treatment challenge. International Endodontic Journal. 2012;45:177–97.
- 39. Merritt SA, Emery RW, Marandola EJ, Scharff CW. Image guidance system for detecting and tracking an image pose. 2018. US 9943374 B2.
- 40. Moreno-Rabié C, Torres A, Lambrechts P, Jacobs R. Clinical applications, accuracy and limitations of guided endodontics: a systematic review. International Endodontic Journal. 2020;53:214–31.
- 41. Nestler N, Wesemann C, Spies BC, Beuer F, Bumann A. Dimensional accuracy of extrusion- and photopolymerization-based 3D printers: in vitro study comparing printed casts. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2021;125:103–10.

- 42. Pashley DH. Dynamics of the pulpo-dentin complex. Critical Reviews in Oral Biology & Medicine. 1996;7:104–33.
- 43. Pierre E, Goldberg M. La dent normale et pathologique. De Boeck Supérieur. Paris, France. 2001.
- 44. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. Journal of Endodontics. 1989;15:512–6.
- 45. Scarfe WC, Levin MD, Gane D, Farman AG. Use of cone beam computed tomography in endodontics. International Journal of Dentistry. 2009;2009:1–20.
- 46. Simon S, Ctorza-Perez C. Cavité d'accès en endodontie. EMC Médecine buccale. 2013;2:1–10.
- 47. Torres A, Boelen G-J, Lambrechts P, Pedano MS, Jacobs R. Dynamic navigation: a laboratory study on the accuracy and potential use of guided root canal treatment. International Endodontic Journal. 2021;54:1659–67.
- 48. Van der Meer WJ, Vissink A, Ng YL, Gulabivala K. 3D computer aided treatment planning in endodontics. Journal of Dentistry. 2016;45:67–72.
- 49. Villa-Machado PA, Restrepo-Restrepo FA, Sousa-Dias H, Tobón-Arroyave SI. Application of computer-assisted dynamic navigation in complex root canal treatments: report of two cases of calcified canals. Australian Endodontic Journal. 2022;48:187–96.
- 50. 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. International Endodontic Journal. 2016;49:966–72.
- 51. 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. Journal of Clinical Medicine. 2020;9:1-9.

### Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année [2022] -

L'accès guidé en endodontie : des guides d'accès statiques vers la navigation dynamique assistée par ordinateur / **Sarah BIZART**. - p. 48 : ill. 22 ; réf. 51.

**Domaines**: Endodontie

Mots clés Libres : Endodontie guidée ; Dent minéralisée ; Guide d'accès

endodontique; Navigation chirurgicale

La minéralisation complique l'obtention de la perméabilité canalaire, et réduit les chances de succès du traitement endodontique. Des techniques récentes impliquant le flux numérique et la CFAO servent d'outil pour réduire le risque iatrogène lors de la prise en charge de la dent minéralisée. Ainsi, le développement de l'imagerie tridimensionnelle a mené à la création des guides endodontiques statiques et de la navigation dynamique.

Cette thèse décrit et compare les intérêts et les limites de ces deux techniques avec l'accès conventionnel, à partir de données de la littérature.

JURY:

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Assesseurs : Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Madame le Docteur Mathilde SAVIGNAT

**Madame le Docteur Marine HENAUT**