

UNIVERSITE DE LILLE

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2021

N°:

THESE POUR LE
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 01 JUIN 2021

Par Adrien FRANÇOIS

Né le 17 Janvier 1996 à Denain

Tutoriel pour la CFAO d'un guide d'accès endodontique statique
orthograde pour dent minéralisée

JURY

Président : Monsieur le Professeur Étienne DEVEAUX
Assesseurs : Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN
Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT
Monsieur le Docteur Henri PERSONN

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directeur Général des Services de l'Université	:	M-D. SAVINA
Doyen	:	Dr. E. BOCQUET
Vice-Doyen	:	Dr. A. de BROUCKER
Responsable des Services	:	S. NEDELEC
Responsable de la Scolarité	:	M. DROPSIT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
E. DELCOURT-DEBRUYNE	Professeur Emérite Parodontologie
C. DELFOSSE	Responsable du Département d' Odontologie Pédiatrique
E. DEVEAUX	Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

K. AGOSSA	Parodontologie
T. BECAVIN	Dentisterie Restauratrice Endodontie
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
P. BOITELLE	Prothèses
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
E. BOCQUET	Responsable du Département d' Orthopédie Dento-Faciale Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire
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
P. HILDEBERT	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie
C. LEFEVRE	Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
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	Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Responsable du Département de 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.

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en chirurgie dentaire

Docteur en sciences odontologiques

Docteur en odontologie de l'Université de Lille

Habilitation à Diriger des Recherches

Personne compétente en radioprotection

Doyen honoraire de la faculté de chirurgie dentaire de Lille

Ancien membre associé national de l'Académie nationale de chirurgie dentaire

Ancien président de la Société française d'endodontie

Chevalier dans l'Ordre des palmes académiques.

Vous me faites l'honneur de présider cette thèse et je vous en suis profondément reconnaissant. Votre sens pédagogique m'a marqué lors des premiers cours dont vous nous avez dispensé en deuxième année. Je regrette seulement de n'avoir pu travailler avec vous un peu plus car, j'en suis sûr, ces moments auraient été très enrichissants dans ma formation. À travers ce travail, veuillez trouver cher Professeur, l'expression de mon respect le plus sincère.

Monsieur le Docteur Thibault BECAVIN

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en chirurgie dentaire

Docteur de l'Université de Lille

Master II Biologie et Santé - Lille 2

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse. Votre sympathie et votre accessibilité sont des qualités qui m'ont encouragées à venir vers vous tant en TP qu'en clinique pour approfondir mes connaissances. Votre encadrement étaient d'une réelle satisfaction pour moi et j'espère que vous trouverez dans ce travail, l'expression de ma sincère reconnaissance.

Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Assesseur Développement Durable

Je vous remercie sincèrement d'avoir accepté de diriger mon travail, mais aussi pour votre disponibilité et votre gentillesse. Bien que ce travail eut été complexe et semé d'obstacles, vous m'avez toujours accompagné pour m'en sortir. Je vous souhaite de tout cœur le meilleur à venir pour vous et votre petite famille. J'espère que ce travail fera honneur à votre encadrement et sera à la hauteur de vos espérances.

Monsieur le Docteur Henri PERSOON

Assistant Hospitalo-Universitaire des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en chirurgie dentaire

Certificat d'études supérieures d'odontologie chirurgicale mention Odontologie

Chirurgicale – Université de Lille

Tu me fais l'honneur de juger mon travail. Qui l'aurait cru lors de notre rencontre ce soir où nous sommes devenus de vrais amis ? Je t'en remercie, mais aussi pour tous ces bons moments que nous avons partagés durant nos études, ces vacances ping-pong paros, ces répétés de revue, ces soirées Beaujolais ! J'espère que tu trouveras dans ce travail ma reconnaissance la plus sincère.

Table des matières

1	Introduction.....	13
2	La dent minéralisée en endodontie.....	14
2.1	Rappels de physiopathologie	14
2.2	Impacts endodontiques de la minéralisation dentinaire.....	17
2.2.1	Sur la dent.....	17
2.2.1.1	Diminution de la lumière canalaire.....	17
2.2.1.2	Colorations dentinaires.....	19
2.2.2	Sur le traitement.....	20
2.2.2.1	Difficulté d'accès.....	20
2.2.2.2	Cartographie du plancher pulpaire	21
2.3	Moyens thérapeutiques disponibles.....	22
2.3.1	Les aides visuelles	22
2.3.1.1	Les télélopes	22
2.3.1.2	Le microscope opératoire	23
2.3.2	L'instrumentation spécifique.....	23
2.3.2.1	Les instruments ultrasonores.....	23
2.3.2.2	Les fraises long col et faible diamètre	24
2.4	L'apport de la CFAO en endodontie	25
2.4.1	Modèles pédagogiques et simulateurs cliniques.....	25
2.4.2	Autotransplantation	26
2.4.3	Guides pour la chirurgie endodontique et péri-apicale	27
2.4.4	Guide pour l'accès endodontique statique orthograde.....	28
3	Problématique et objectifs.....	30
4	Conception et fabrication d'un guide d'accès endodontique.....	31
5	Réalisation du tutoriel.....	35
5.1	Acquisition numérique du modèle par cone-beam	36
5.2	Empreinte numérique du modèle ex-vivo.....	36
5.3	Conception Assistée par Ordinateur (CAO)	37
5.4	Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO)	51
5.5	Protocole clinique.....	59
6	Conclusion	62
	Table des figures.....	63
	Références bibliographiques.....	66
	Annexes.....	70
	Annexe 1 : Fiche récapitulative pour la CFAO d'un guide d'accès endodontique statique orthograde avec douille de forage	70

1 Introduction

La dent minéralisée représente un défi thérapeutique en endodontie. En effet, la minéralisation provoque une limitation d'accès au canal pulpaire, augmentant ainsi le risque d'erreurs iatrogènes. Pour faciliter ces traitements et compléter l'arsenal thérapeutique du chirurgien-dentiste composé d'aides optiques et d'instruments spécifiques, de nouvelles solutions apparaissent avec le développement de la CFAO en endodontie.

Ainsi la création d'un guide d'accès endodontique statique orthograde permet de sécuriser le passage d'un foret endodontique dans une dent minéralisée, jusqu'à la récupération de la perméabilité canalaire, tout en conservant un risque iatrogène acceptable. Cependant, cette technologie étant en plein essor, il n'existe pour l'instant pas de protocole standardisé accessible à tous pour la création de ce type de guide.

Afin de répondre à cette problématique, l'objectif de cette thèse est de proposer un tutoriel pas à pas sur la conception et la fabrication assistée par ordinateur d'un guide d'accès endodontique orthograde pour dent minéralisée. Après avoir fait un état de l'art des spécificités de la prise en charge de la dent minéralisée en endodontie, un tutoriel complet est proposé pour faciliter la démocratisation de cette technologie auprès des praticiens.

2 La dent minéralisée en endodontie

2.1 Rappels de physiopathologie

La dentine est un tissu minéralisé constituant le plus grand volume de l'organe dentaire. Il est recouvert par l'émail dans sa partie coronaire, par le cément dans sa partie radulaire et protège le complexe pulpaire.

Elle est composée à 70% d'une phase minérale (hydroxyapatite), à 20% d'une trame organique (protéines et facteurs de croissance) et à 10% d'une phase aqueuse (eau). La partie organique est constituée à 90% de protéines collagéniques et les 10% des protéines non collagéniques restantes sont composées de protéines phosphorylées (SIBLINGs majoritairement) tandis que d'autres molécules ne sont pas phosphorylées. L'ensemble de ces protéines contribue à la signalisation et à la minéralisation de la dentine [9].

C'est un tissu de couleur jaunâtre, moins dur que l'émail, avec une opacité plus importante.

La dentine évolue au cours de la vie. En effet la dentine est perméable car traversée par des tubules dentinaires lui permettant de répondre aux stimulations externes. Ces stimuli sont captés par le prolongement odontoblastique (situé du côté externe de la dentine) et sont transmis au corps odontoblastique (situé en périphérie pulpaire) qui interpose de la néodentine, appelée dentine réactionnelle, pour protéger la pulpe en cas d'agression. Les canalicules s'oblitérent avec le temps et la répétition des agressions, ainsi le volume pulpaire se réduit [11] (Figure 1). Par ailleurs, la répartition des tubules est inégale dans l'épaisseur de la dentine et leur densité augmente à proximité de la cavité pulpaire. En effet elle passe de 10 000 canalicules par mm^2 au tiers externe proche de la jonction amélo-dentinaire à 50 000 canalicules par mm^2 au tiers interne, preuve de la confluence des odontoblastes et de leur migration en direction centripète au cours de la dentinogénèse [14,29].

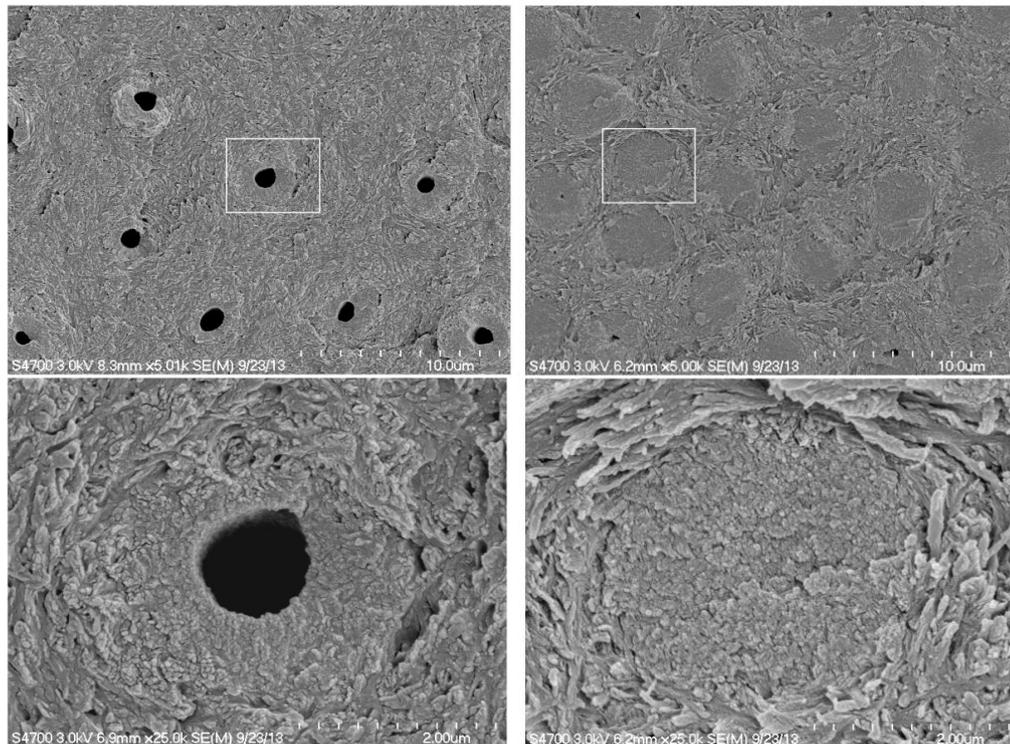


Figure 1 : Micrographies de dentine jeune et âgée obtenu par MEB aux grossissement x 5 000 et x 25 000 [24].

Quand les odontoblastes sont détruits à la suite d'une agression, des molécules de signalisation sont libérées ; elles mobilisent des cellules souches (cellules mésenchymateuses indifférenciées) très nombreuses dans la pulpe [26]. Celles-ci migrent vers le site de l'agression et se différencient pour former de nouveaux odontoblastes [30]. Ces molécules de signalisation régulant ce processus sont de la famille des protéines de la morphogenèse osseuse (bone morphogenetic proteins [BMP]) et du facteur de croissance de transformation β (transforming growth factor β [TGF- β]). Ces facteurs de croissance sont présents dans la matrice dentinaire [34]. Ils permettent d'initier la sécrétion de dentine tertiaire.

Différents types de dentine peuvent être distingués selon le moment où elles sont synthétisées, définis selon Goldberg [20] :

- la dentine primaire est synthétisée physiologiquement dès le début du développement de la dent, jusqu'à sa mise en fonction. La plus grande partie est déjà présente avant l'éruption dentaire. Quand la croissance de la dentine primaire cesse, la cavité pulpaire est délimitée ;

- la dentine secondaire est formée physiologiquement tout au long de la vie après l'édification complète de la dent. Elle se dépose en réponse aux facteurs biomécaniques (changements de température, chocs mécaniques, irritations chimiques). Elle est sécrétée en direction centripète et de façon non uniforme, davantage au niveau du plafond et des cornes pulpaire ;
- la dentine tertiaire n'est pas physiologique, elle est sécrétée en cas d'agressions telles que les caries, les traumatismes, les processus d'usure, ou iatrogènes. Son but est de protéger la pulpe.

Deux sortes peuvent être distinguées : la dentine réactionnelle et la dentine réparatrice. Si le stimulus nocif n'entraîne pas la destruction des odontoblastes primaires c'est de la dentine réactionnelle. Celle-ci se distingue en 2 types. Le premier correspond à la dentine sclérotique qui apparaît dans le cas d'une augmentation du processus physiologique de formation de dentine péritubulaire et se forme au dépend de la lumière des tubules dentinaires. Le second type de dentine est péripulpaire, elle se situe à l'interface dentine/pulpe après l'accroissement de ce dépôt de pré-dentine, dans ce cas elle est sécrétée dû à l'accélération de formation de la dentine péritubulaire.

Lorsque le stimulus nocif augmente et que les odontoblastes primaires se nécrosent, c'est alors de la dentine réparatrice. Une division des cellules issues de la région sous odontoblastique apparaît. Ces dernières migrent au contact de la zone de nécrose et se différencient en odontoblastes de deuxième génération (ou de remplacement). Le tissu pulpaire va réagir par apposition de cette dentine [10,20].

Les événements biologiques survenant dans la formation de la dentine réactionnelle et de la dentine réparatrice sont donc différents.

La dentine réactionnelle a besoin de l'interaction entre le stimulus chimique ou physique, et de l'odontoblaste pour déclencher la sécrétion de la matrice, alors que la dentine réparatrice requiert une cascade d'événements (division cellulaire, chimiotaxie, migration, adhérence, cytodifférenciation) pour se former [31].

Les canalicules déshabités par les odontoblastes s'oblitérent par précipitation et reprécipitation de cristaux de phosphates de calcium. Ce phénomène correspond à la sclérose dentinaire. Le diamètre des tubules dentinaires diminue par minéralisation de dentine péricanaliculaire, ainsi que par minéralisation intracanaliculaire. Ces processus sont caractéristiques d'une dentine sénescente qui possède un aspect translucide [14]. Tous les mécanismes de minéralisation dentinaire sont susceptibles de créer des difficultés lors du traitement endodontique d'une dent.

2.2 Impacts endodontiques de la minéralisation dentinaire

2.2.1 Sur la dent

2.2.1.1 Diminution de la lumière canalaire

L'apposition de dentine secondaire et tertiaire provoque une réduction du volume pulpaire qui peut être accentuée par une minéralisation pulpaire.

Le dépôt de dentine secondaire se fait plus sur le versant palatin de la chambre pulpaire que sur le versant vestibulaire des dents antérieures. Sur les prémolaires et les molaires, ce dépôt se retrouve préférentiellement sur le plafond et le plancher de la chambre, ainsi qu'au niveau des régions cervicales [20].

Avec l'apposition de dentine secondaire, 50% de la hauteur initiale de la chambre pulpaire disparaît entre la 20^e et la 60^e année de vie sur les dents pluriradiculées. Cette apposition éloigne ainsi la proximité du plafond pulpaire, compliquant de ce fait son accès en cas de traitement endodontique (Figure 2) [28].

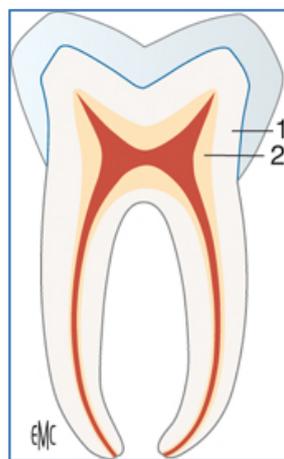


Figure 2 : Zones d'apposition de dentine secondaire. 1. Dentine primaire ; 2. Dentine secondaire ; d'après SIMON, 2010 [28].

En réponse aux agressions pulpaires majeures, de la dentine tertiaire est sécrétée. L'apposition de cette dentine réactionnelle induit une réduction supplémentaire du volume caméral, notamment dans les zones adjacentes à l'irritation (Figure 3) [28].

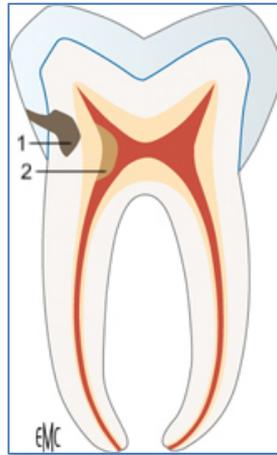


Figure 3 : Zones d'apposition de dentine tertiaire. 1 Lésion carieuse ; 2. Dentine tertiaire ;
D'après SIMON, 2010 [28].

Une autre forme de calcification est retrouvée au sein des chambres pulpaires, ce sont les pulpolithes ou minéralisations intrapulpaires. Ils sont formés d'une apposition de fibres collagéniques, plus ou moins concentriques, qui se calcifient par imprégnation de sels minéraux. Ils sont qualifiés de « vrais » ou de « faux » selon la base de leur structure, et de « libres » ou « d'attachés » selon leur localisation. Leur taille peut altérer l'anatomie de la chambre pulpaire (Figure 4) [3].

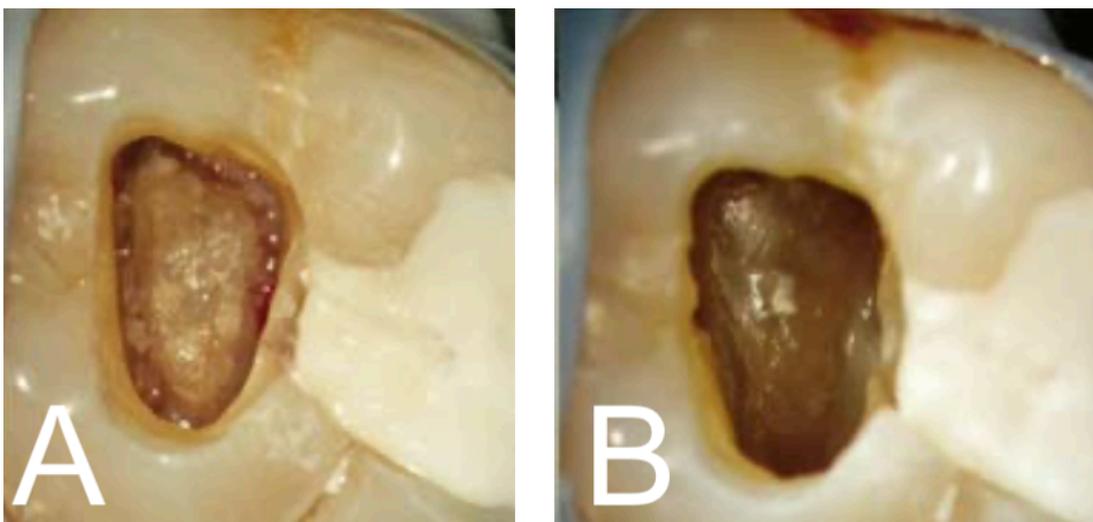


Figure 4 : A : Mise en évidence d'un pulpolithe dans la chambre pulpaire ; B : Vue du plancher après élimination du pulpolithe [3].

2.2.1.2 Colorations dentinaires

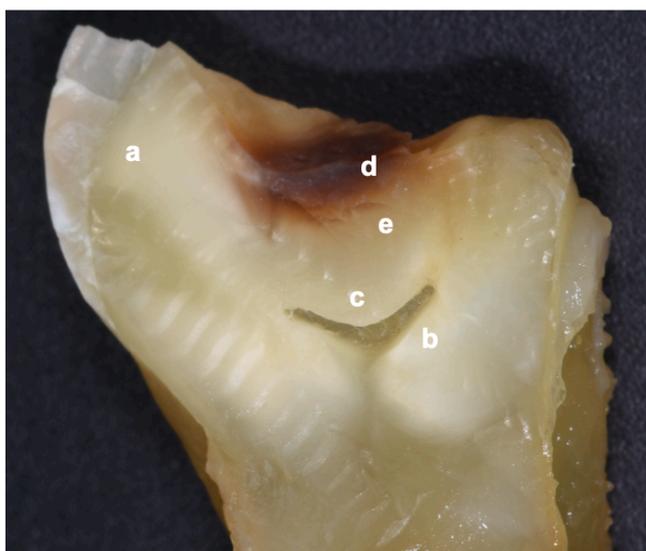
La dentine sécrétée lors de la minéralisation de la dent présente des colorations différentes, permettant ainsi de distinguer son type.

Morphologiquement, les canalicules de dentine secondaire sont moins nombreux, plus étroits, sinueux et inclinés que ceux de la dentine primaire. De ce fait la jonction entre ces deux types de dentine est habituellement sombre et reconnaissable.

Les dépôts de dentine secondaire ont tendance à foncer la coloration naturelle des dent, de même avec les dépôts de dentine tertiaire qui aboutissent à l'oblitération des chambres pulpaire [20].

La couche de dentine tertiaire est de couleur orangée soutenue.

De plus, une ligne calciotraumatique démarque cette dentine tertiaire de la dentine secondaire sus-jacente (Figure 5).



**a : dentine primaire b : dentine secondaire c : dentine tertiaire réactionnelle
d : dentine infectée e : dentine affectée**

Figure 5 : Photographie d'une coupe verticale d'une molaire mandibulaire cariée passant par la cavité pulpaire, permettant de visualiser la minéralisation réactionnelle de la dent face à la carie. Remerciements au Dr Bittar pour son illustration.

En ce qui concerne les pulpolithes, leur étendue est délimitée par une démarcation colorimétrique entre la dentine des parois canalaire et le tissu calcifié central. Lors de traitements initiaux, la démarcation peut s'exprimer sous la forme d'une ligne hémorragique correspondant au tissu pulpaire sous-jacent [3].

2.2.2 Sur le traitement

2.2.2.1 Difficulté d'accès

La prise de clichés radiographiques orthogonaux et excentrés permet de mettre en évidence le volume de la chambre pulpaire et la présence d'obstacles (calcifications, matériaux de reconstitution) (Figure 6) [29]. Cependant malgré que les pulpolithes soient souvent visibles sur les radiographies, leur présence rend difficile le processus de localisation des orifices d'entrées des canaux [34].



Figure 6 : Radiographie d'une dent minéralisée au niveau du tiers coronaire radiculaire.

Les techniques d'imagerie tridimensionnelles comme la Tomographie Volumique à Faisceau Conique à petit champ sont une aide précieuse en cas d'anatomie complexe ou de minéralisations car elles permettent de comprendre et d'appréhender l'anatomie du système canalaire [34].

La réalisation de la cavité d'accès repose sur les connaissances anatomiques du praticien et sur une analyse clinique et radiographique au préalable de la dent afin d'appréhender au mieux l'anatomie du système canalaire.

Lors de la réalisation de la cavité d'accès sur une pulpe large, l'entrée dans la chambre pulpaire se caractérise par la sensation tactile de « chute dans le vide ». Cependant, en cas de minéralisation, la lumière canalaire est réduite et peut rendre difficile la perception de cette sensation et induire le chirurgien-dentiste en erreur, compromettant ainsi son traitement.

Un contrôle visuel est nécessaire tout au long du traitement. Le grossissement et l'illumination du champ opératoire permettent de faciliter l'analyse de la cavité pulpaire et ainsi la recherche des entrées canalaires. Les observations de calcifications et des pulpolithes, le repérage des saignements, les observations de surplombs ou des éperons de dentines secondaire ou réactionnelle sont autant d'informations qui, analysées, permettent une meilleure réalisation de cette cavité d'accès [22].

2.2.2.2 Cartographie du plancher pulpaire

L'intérêt sur le plan endodontique de comprendre les couleurs dentinaires est de pouvoir se repérer dans l'anatomie du système canalaire. L'observation des modifications des tissus doit permettre au praticien d'anticiper les modifications pulpaire.

Les berges des entrées canalaires sont bordées d'une dentine à l'aspect bleu nacré retrouvée d'une entrée à l'autre. Au milieu de cette zone peut être distinguée une ligne de dentine de couleur plus brune, guidant vers une entrée canalaire supplémentaire. Sur les bords mésiaux et distaux des dents pluriradiculées, une dentine d'un blanc crayeux caractéristique d'une minéralisation plus spécifique, détermine les frontières mésiales et distales du plancher pulpaire. La détection et l'élimination des dentines secondaires et tertiaires permet de découvrir l'anatomie primaire du plancher pulpaire ainsi que l'accès à des entrées canalaires ou à des isthmes inter canalaires oblitérés par ces minéralisations [29].

Tel un guide visuel, cela va limiter les risques de fausse route et de perforation. Ces connaissances, ajoutées aux aides optiques sont une aide considérable afin de sécuriser nos traitements (Figure 7).

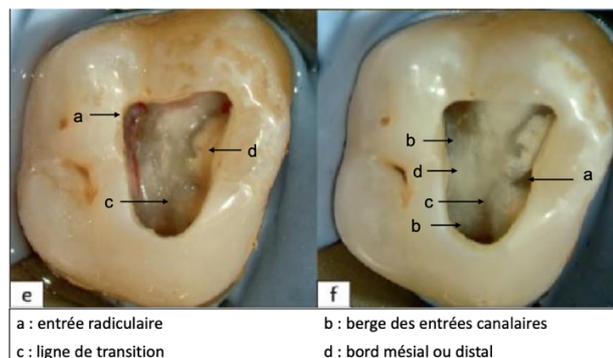


Figure 7 : Cavité d'accès sur une molaire maxillaire après élimination du plafond (e) et une fois terminée avec mise en évidence d'un second canal mésio-vestibulaire (MV2) (f) [29].

2.3 Moyens thérapeutiques disponibles

2.3.1 Les aides visuelles

En odontologie, les aides visuelles sont des outils qui se situent entre les yeux de l'opérateur et le site opératoire pour permettre de grossir le champ d'observation et faciliter l'acte opératoire. Elles apportent un confort visuel afin d'observer des détails invisibles à l'œil nu, mais aussi apportent une meilleure ergonomie améliorant la posture de travail. Lors de traitements de dents minéralisées, l'accès à la chambre pulpaire peut s'avérer complexe par défaut de visualisation. Ces outils sont donc indispensables dans le plateau technique endodontique.

Les grands principes des aides visuelles en odontologie sont :

- un grossissement du champ opératoire de x2,5 à x40 pour une distance de travail de 200 à 300 mm ;
- la conservation d'une vision stéréoscopique et donc tridimensionnelle ;
- l'association d'un éclairage du champ opératoire impliquant la confusion des champs optiques et lumineux, dit coaxial [29].

Deux types d'aides visuelles sont utilisés en endodontie : les téléloupes avec un grossissement x4, et le microscope opératoire allant jusqu'à x40.

2.3.1.1 Les téléloupes

Cette aide visuelle est en réalité le résultat de la combinaison d'une loupe à un télescope. La fonction de la loupe n'est pas de grossir l'objet observé mais de le reproduire dans un plan éloigné qui est celui de la netteté du télescope [29].

Les téléloupes permettent d'associer un grossissement convenable (x4) avec une distance de travail confortable pour le praticien (Figure 8).



Figure 8 : Loupe binoculaires TTL.

2.3.1.2 Le microscope opératoire

Le microscope opératoire permet un grossissement plus important que les téléloupes pouvant aller jusqu'à x40 (Figure 9).

Ce système utilise l'association de la loupe et d'un système optique binoculaire.

Le chirurgien-dentiste ne peut percevoir qu'un seul plan de l'objet et doit faire varier la mise au point du système optique pour observer les autres plans.



Figure 9 : Microscope opératoire.

Comme pour les loupes binoculaires, l'éclairage est de type coaxial, focalisé entre les oculaires pour permettre une totale absence d'ombre.

La source lumineuse peut-être :

- une ampoule halogène-quartz, donnant une lumière jaunâtre ;
- une ampoule halogène xénon, utilisée avec un ventilateur puisqu'elle élève la température du site opératoire et donnant une lumière bleutée ;
- des LEDs donnant une lumière blanche, qui remplacent les autres sources lumineuses car plus puissantes, et possèdent une durée de vie plus longue.

2.3.2 L'instrumentation spécifique

2.3.2.1 Les instruments ultrasonores

La localisation des canaux est un des défis de l'endodontie, notamment dans

les cas où l'entrée est obstruée par de la dentine secondaire ou tertiaire, ou par la présence de pulpolithes. Lors de la préparation d'accès d'une dent minéralisée, le risque d'erreur iatrogène est élevé. Il peut aboutir à la création d'une perforation ou à l'apparition de complication. En complémentarité aux aides optiques, l'utilisation d'instruments à ultrasons est une combinaison efficace pour éliminer la dentine de manière sélective (Figure 10). Le microscope offre un grossissement et un éclairage important. Lorsqu'il est associé à l'utilisation d'ultrasons qui offre un dégagement important, le praticien obtient une excellente visibilité de travail. Ceci permet d'augmenter la sécurité de l'intervention. tandis que les ultrasons permettent de travailler en profondeur dans la chambre pulpaire [21].



Figure 10 : Inserts ultrasonores pour l'endodontie.

Les inserts ultrasonores sont utiles pour affiner l'accès, trouver l'emplacement de canaux minéralisés, relocaliser les entrées canalaire ou encore éliminer des pulpolithes. Ces inserts ultrasonores sont coudés et peuvent être diamantés, ce qui leur permet d'être travaillant sur la zone minéralisée tout en permettant un bon dégagement de la zone de travail [35].

2.3.2.2 Les fraises long col et faible diamètre

Ces instruments, aussi appelés fraises de Mueller (Figure 11), comportent une partie travaillante sphérique portée par un très long col. Ce long col est non seulement conçu de façon à fraiser profondément dans la racine, mais surtout pour permettre une meilleure visibilité en éloignant la tête du contre-angle de la partie travaillante. Ceci facilite la recherche de canaux minéralisés [34].

La longueur de ces fraises est de 31 mm, avec un col de 18 mm. Celle de diamètre

010 est utilisée en général pour les incisives mandibulaires et les prémolaires maxillaires, et celle de diamètre 014 l'est pour toutes les autres dents [29].



Figure 11 : Fraises de Mueller.

2.4 L'apport de la CFAO en endodontie

La Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur (CFAO) est une technique arrivée récemment dans les cabinets dentaires. Elle consiste en la modélisation virtuelle puis la réalisation matérielle d'un dispositif médical sur-mesure. Elle est utilisée en endodontie pour la création de modèles pédagogiques et simulateurs cliniques, de modèles en autotransplantation, de guides pour la chirurgie endodontique et péri-apicale et de guides pour l'accès endodontique statique orthograde.

2.4.1 Modèles pédagogiques et simulateurs cliniques

L'apprentissage pratique préclinique des étudiants en chirurgie dentaire est réalisé soit sur des dents naturelles extraites humaines, soit sur des modèles numériques ou bien synthétiques [18]. Traditionnellement les modèles synthétiques étaient réalisés par coulage, ce qui limite le nombre de morphologie disponible [1].

La CFAO permet de pallier aux limites des modèles synthétiques par coulage utilisés conventionnellement car elle permet de simuler de nombreuses situations cliniques complexes avant de les traiter [12]. Ces modèles peuvent être conçus soit

en matériaux résineux, soit en matériaux céramique [23] (Figure 12). Le développement des matériaux résineux et des techniques d'impression 3D permet aujourd'hui de reproduire des dents complètes aux morphologies complexes. Leur faible coût et leur simplicité de fabrication permettent aux praticiens de les concevoir eux-mêmes et ainsi de contrôler les paramètres du canal à reproduire [7,17]. De plus il est possible de créer un grand nombre de modèles identiques et utiliser ces derniers dans la recherche préclinique afin par exemple d'évaluer la capacité de centrage des cavités d'accès [37] ou les différentes techniques d'obturation des canaux en C [8].

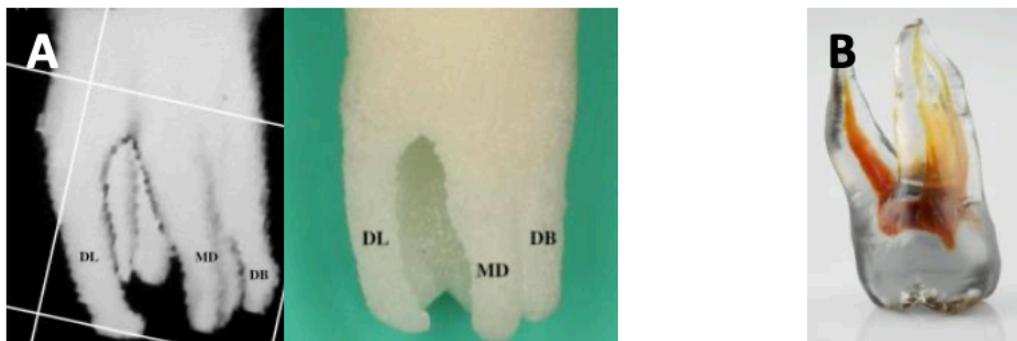


Figure 12 : reproduction d'une dent par impression 3D. A [15] : image CBCT (gauche), prototype d'une dent (droite) ; B (image DELendo) : TrueTooth.

2.4.2 Autotransplantation

L'autotransplantation dentaire correspond à la transposition d'une dent vers une alvéole préparée chirurgicalement sur la même personne. C'est un acte retrouvé notamment lors de l'agénésie d'une dent ou de sa perte prématurée.

La réussite de la transplantation est influencée par les compétences du chirurgien-dentiste, du degré de traumatisme lors de l'extraction de la dent du site donneur, de sa distance avec la nouvelle alvéole, ainsi que de la difficulté à remodeler le site receveur et du temps extra-alvéolaire. Ces facteurs conditionnent la préservation des cellules du ligament parodontal de la dent transplantée ainsi que du degrés d'irritation du site receveur [36].

La CFAO pour l'autotransplantation permet de créer en préopératoire un modèle de la dent du site donneur. Celui-ci fonctionnera comme un guide lors de la chirurgie permettant le remodelage du site osseux receveur **avant** l'extraction de la

dent transplantée. Cette technique à l'avantage de faciliter la procédure, de diminuer le temps extra oral de la dent extraite et le nombre de manipulations de la dent transplantée, ce qui permet d'optimiser les conditions de cicatrisation [1,36] (Figure 13).

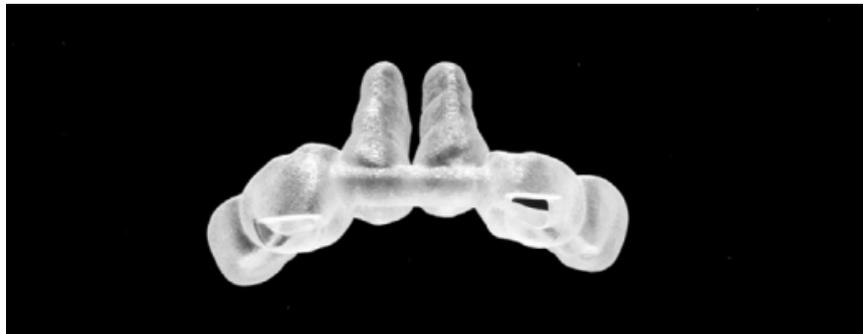


Figure 13 : Modèle chirurgical 3D pour autotransplantation montrant la position idéale de chaque dent [32].

2.4.3 Guides pour la chirurgie endodontique et péri-apicale

Les traitements de chirurgie endodontique et péri-apicale interviennent principalement en seconde intention en cas d'échec de traitement endodontique orthograde conventionnel. Mais aussi en première intention lorsque l'accès apical par voie orthograde est impossible. Ils se basent sur des repères anatomiques et des mesures radiographiques pour réaliser une ostéotomie ciblée et la résection radiculaire de la dent pathologique. Cependant il est difficile de localiser avec précision le site idéal de l'ostéotomie, notamment si la situation clinique ne permet pas de garantir avec certitude l'orientation, l'angulation et la profondeur de préparation théorique. Cette étape du traitement est d'autant plus critique en raison de la présence de structures anatomiques qui doivent impérativement être préservées. Il est donc nécessaire de préserver au maximum l'os sain en réalisant une ostéotomie à minima, tout en contrôlant son positionnement avec précision. Ceci permet de réduire la durée de cicatrisation et les sensibilités post opératoires [1].

Les guides chirurgicaux réalisés par CFAO permettent de guider le chirurgien-dentiste lors de cette étape cruciale, en ciblant avec précision le site d'ostéotomie optimal, tout en préservant les structures neurovasculaires et les racines des dents adjacentes.

De plus elle possède des possibilités créatives intéressantes, comme la création d'un

rétracteur de tissus personnalisé pour améliorer la visualisation et la manipulation des tissus mous [19] (Figure 14).



Figure 14 : Guide chirurgical créé par CFAO [33].

2.4.4 Guide pour l'accès endodontique statique orthograde

La minéralisation du système canalaire se traduit cliniquement par un scénario où les canaux pulpaire doivent être localisés dans une position plus apicale dans les racines [16].

L'intervention est indiquée en cas de pulpite irréversible ou d'une parodontite apicale [25].

Le principal risque de ces traitements est la perforation iatrogène lors de la recherche des canaux. Pour solutionner cette problématique, des guides d'accès endodontique statique orthograde, similaires aux guides chirurgicaux en implantologie, permettent de positionner avec précision un instrument rotatif long col afin d'obtenir la perméabilité canalaire [1] (Figure 15).



Figure 15 : Guide d'accès imprimé [13].

Selon une étude de *Connert et al.* comparant l'accès endodontique guidée et la préparation de cavités d'accès conventionnelles, il apparaît que la localisation ainsi que la négociation des canaux minéralisés sont plus prévisibles en les abordant à l'aide d'un guide d'accès endodontique statique orthograde. Par ailleurs, cette méthode est plus rapide et plus économe en tissus [4].

De plus, des études *ex vivo* évaluent les préparations d'accès guidé en superposant un CBCT post-accès à un accès conçu virtuellement en préopératoire. *Buchgreitz et al.* constatent que la distance moyenne entre la trajectoire de forage et la cible est inférieure à 0,7 mm [2]. *Zehnder et al.* ainsi que *Connert et al.* ont également trouvé de petites déviations par rapport à l'accès prévu (0,12 à 0,34 mm à l'extrémité de la fraise) et une déviation angulaire moyenne de moins de 2 ° [6,38]. Ces recherches suggèrent que les guides d'accès imprimés en 3D représentent un moyen efficace et sûr de répondre aux scénarios endodontiques difficiles.

3 Problématique et objectifs

La dent minéralisée relève du défi thérapeutique en endodontie. En effet les mécanismes de minéralisations dentinaires engendrent une réduction du volume pulpaire compliquant l'accès au système canalaire et l'ensemble du traitement. La combinaison des aides visuelles et de l'instrumentation spécifique atténue ces difficultés. Mais dans certains cas extrêmes, le traitement endodontique reste difficile à réaliser, c'est pourquoi la CFAO est une aide précieuse permettant de faciliter cette prise charge. En effet elle permet de gagner du temps opératoire, de la précision, et d'apporter davantage de sécurité. Son utilisation a déjà été décrite pour le traitement endodontique de dents antérieures et postérieures [5,13,27].

Cependant, il n'existe actuellement pas de guide pédagogique pour initier les praticiens à cette technologie. C'est pourquoi l'objectif de ce travail est de réaliser un tutoriel pour la CFAO d'un guide d'accès endodontique statique orthograde.

4 Conception et fabrication d'un guide d'accès endodontique

Dans ce travail, les étapes successives pour la création d'un guide d'accès endodontique orthograde sont décrites à partir de cas cliniques illustrés de la littérature [5,13,27] :

- après un examen clinique complet et radiographiques bi et tridimensionnel (Figure 16), le diagnostic est posé ainsi que les éventuelles difficultés liées à la minéralisations de la dent sont décelées. Il est décidé de créer un guide d'accès endodontique orthograde pour le traitement ;



Figure 16 : Images CBCT ; A : d'une incisive maxillaire minéralisée [13] ; B : d'incisives mandibulaires minéralisée [5].

- une empreinte optique ou chimique des surfaces dentaires est réalisée. Si une empreinte chimique a été réalisée, elle doit être numérisée (Figure 17) ;



Figure 17 : Rendu surfacique du scan intra-oral [5].

- les données de l'empreinte ainsi que celles du CBCT sont chargées dans un logiciel de planification implantaire, puis repositionnées de manière à superposer les images de l'empreinte à celles du CBCT ;

- une copie virtuelle du foret qui sera utilisé pour accéder à la lumière canalaire est créée avec l'outil de conception d'implant du logiciel. La copie virtuelle est positionnée de manière à simuler la trajectoire optimale d'accès à la lumière canalaire. Sa position est contrôlée dans les 3 plans de l'espace (Figure 18) ;

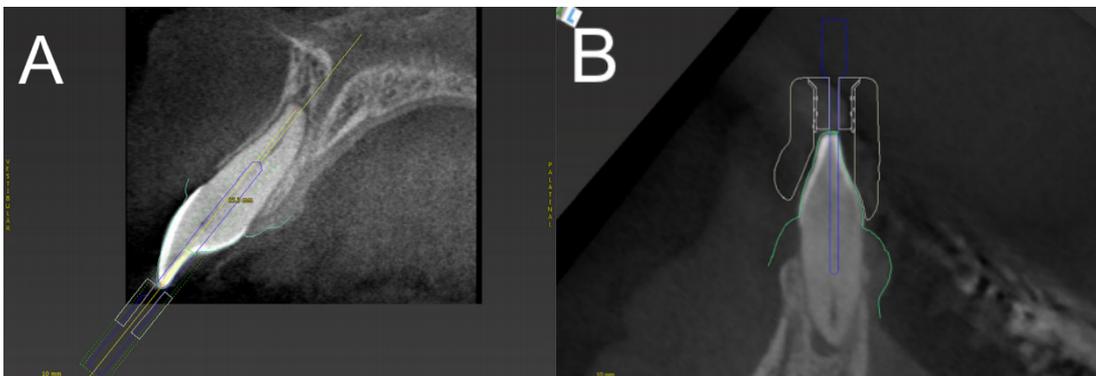


Figure 18 : Planification virtuelle de la position du forêt pour la réalisation de la cavité d'accès ; A : sur une incisive maxillaire minéralisée [13] ; B : sur une incisive mandibulaire minéralisée [5].

- le modèle du guide est conçu virtuellement sur le logiciel avec ou sans ajout de fûts de guidage métallique (Figure 19). Le modèle est exporté au format STL puis envoyé à un dispositif pour fabrication additive ;

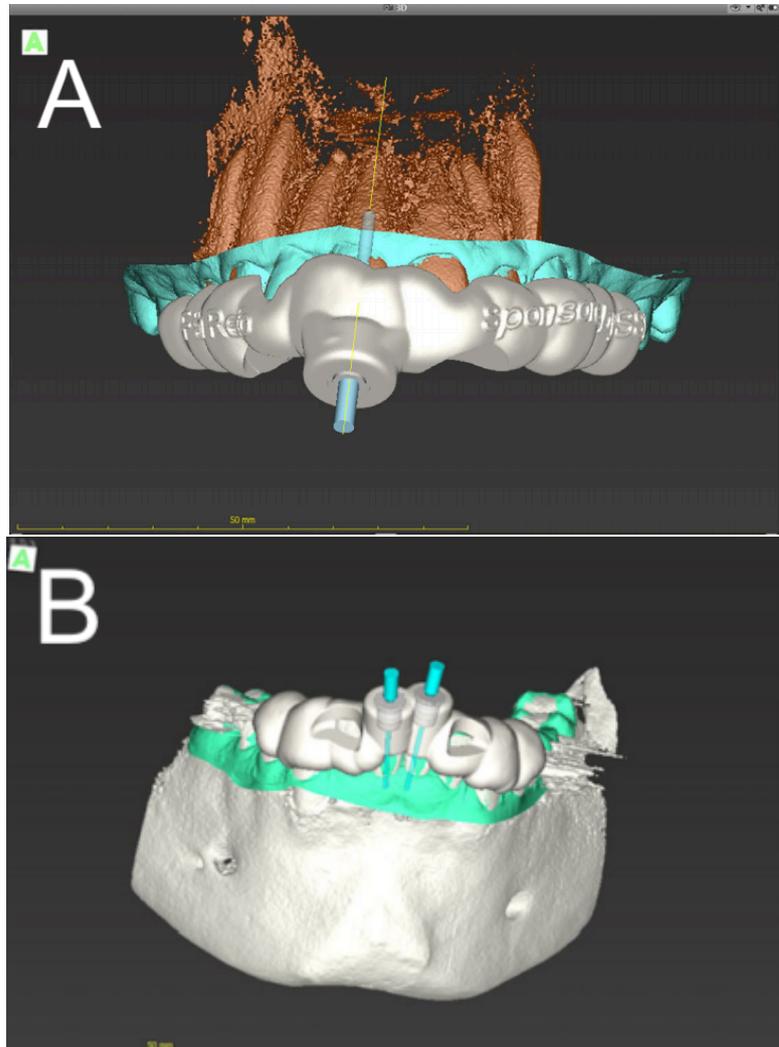


Figure 19 : Modèles conçus virtuellement ; A [13] ; B [5].

- lors d'une deuxième séance la digue est mise en place et l'ajustage du guide est contrôlé en bouche (Figure 20) ;

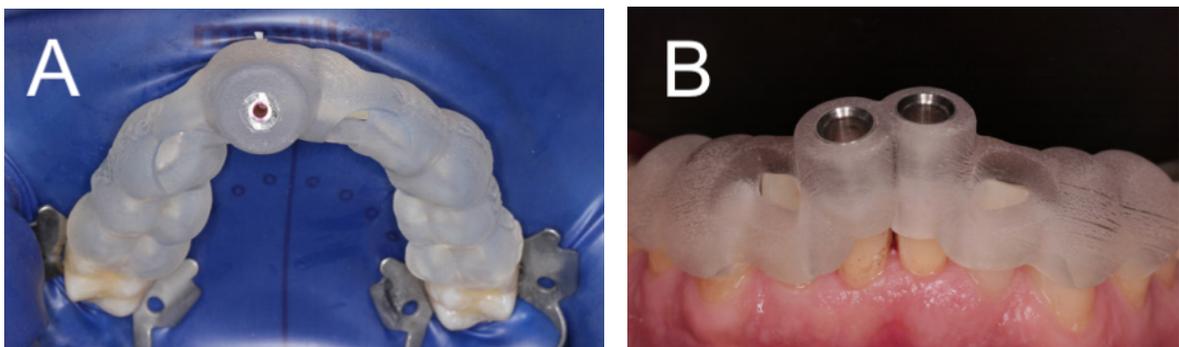


Figure 20 : Mise en place des guides en bouche ; A [13]; B [5].

- après réaménagement de la cavité, le forage canalaire est réalisé (avec le foret sélectionné lors de l'étape de la conception) à une vitesse de 10 000 tr/min avec des mouvements d'aller/retour, jusqu'à atteindre la longueur prédéfinie (Figure 21) ;

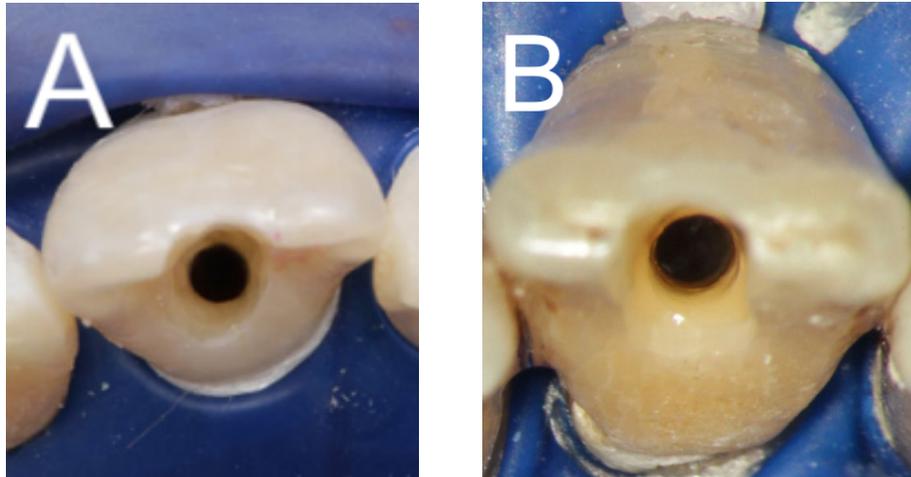


Figure 21 : Cavités d'accès après localisation des canaux radiculaires ; A [13] ; B [5].

- le contrôle de la perméabilité canalaire est effectué à l'aide d'une lime K10 ;

- la suite du traitement endodontique est conventionnelle (Figure 22).

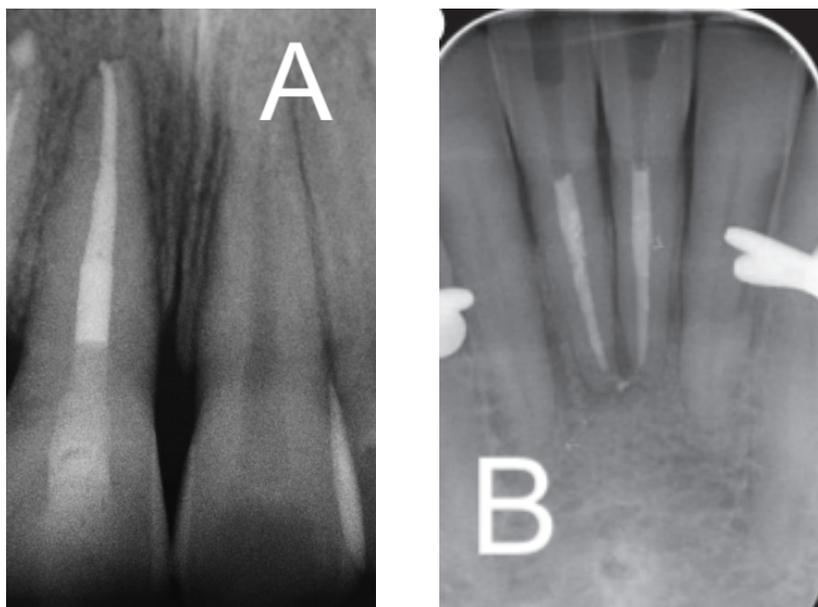


Figure 22 : Radiographies post-opératoires après traitements endodontiques ; A [13] ; B [5].

5 Réalisation du tutoriel

Afin de réaliser le tutoriel et de simuler un patient virtuel, des dents humaines extraites minéralisées ont été recueillies pour recréer une arcade maxillaire complète sur un modèle en plâtre. Des clichés radiographiques rétro-alvéolaires ont été effectués pour sélectionner les dents suffisamment minéralisées avec une partie coronaire saine (Figure 23).

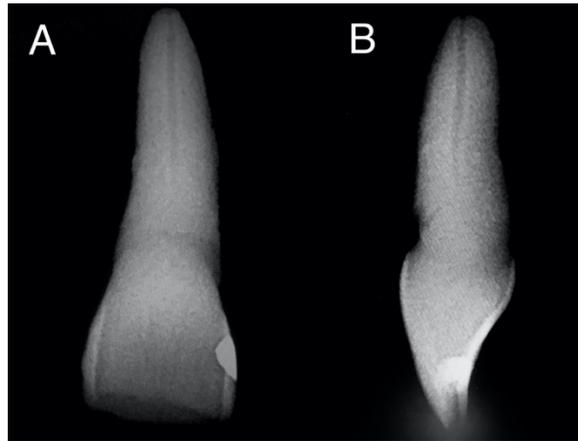


Figure 23 : Radiographies de l'incisive centrale maxillaire gauche (21) sélectionnée pour réaliser le tutoriel ; vue frontale (A), vue sagittale (B).

Ce modèle servira à présenter le tutoriel du traitement endodontique de l'incisive centrale maxillaire gauche (21) à l'aide d'un guide d'accès endodontique statique orthograde (Figure 24).

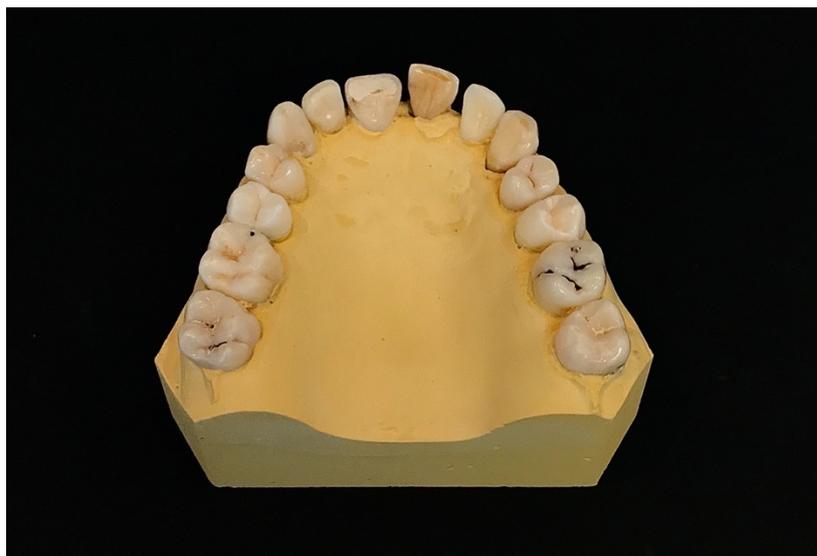


Figure 24 : Vue occlusale pré-opératoire du modèle ex-vivo.

5.1 Acquisition numérique du modèle par cone-beam

Réaliser un cone-beam centré sur la dent à traiter en haute résolution (90 μm) et petit champ pour obtenir les données tridimensionnelles, exportées au format .DICOM. Ces données serviront de base à la conception du guide (Figure 25).

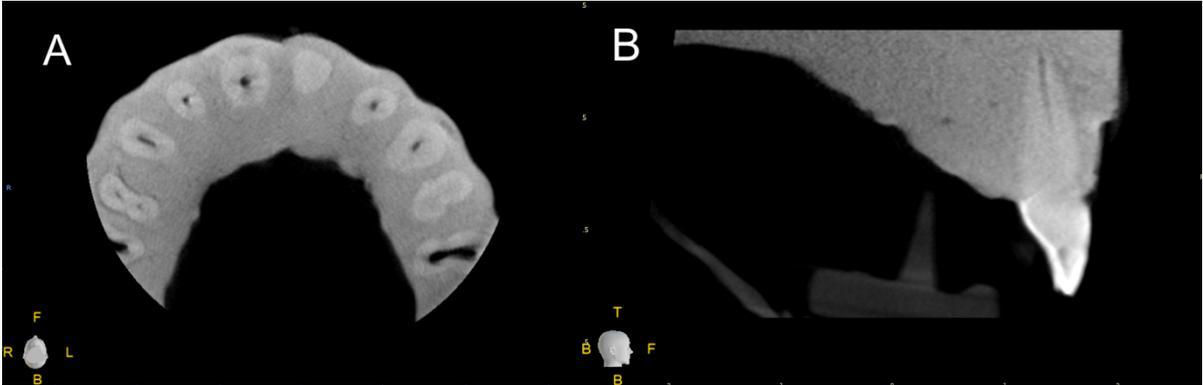


Figure 25 : Cone-beam du modèle ex-vivo : coupe axiale (A) et sagittale (B) (CS 9300, Carestream).

5.2 Empreinte numérique du modèle ex-vivo

Prendre une empreinte de l'arcade qui comprend la dent à traiter à l'alginate (Figure 26).

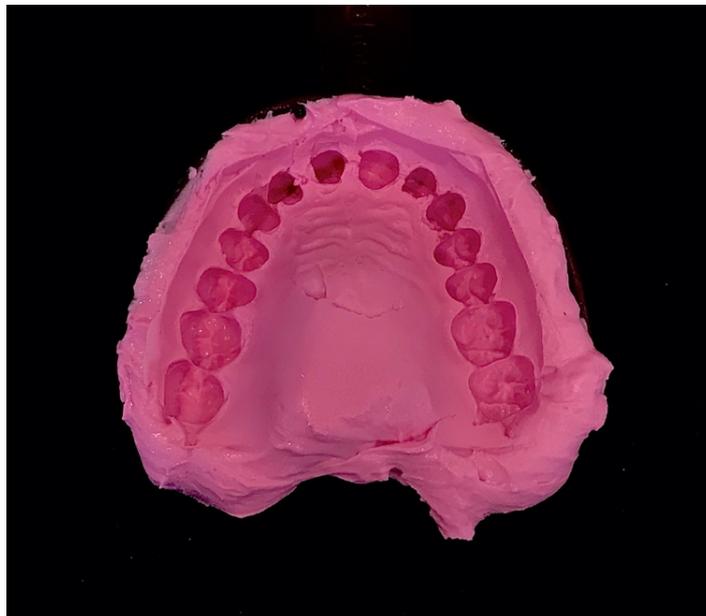


Figure 26 : Empreinte à l'alginate du modèle ex-vivo.

Couler l'empreinte en plâtre, la numériser, puis exporter les données au format .STL. (Figure 27).

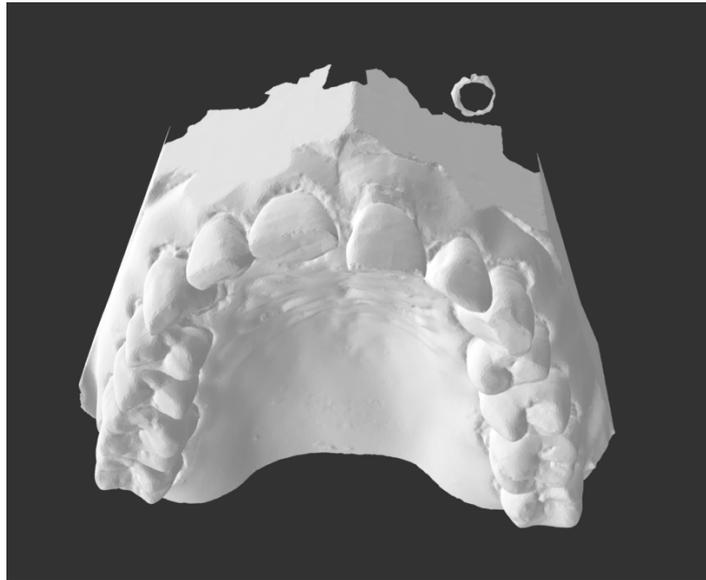


Figure 27 : Modèle virtuel de l'empreinte numérisée (Dentalwings 7series, Straumann).

5.3 Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

Ici le logiciel BlueSkyPlan a été sélectionné.

- Ouvrir le logiciel BlueSkyPlan et cliquer sur « Guides Chirurgicaux » (Figure 28).

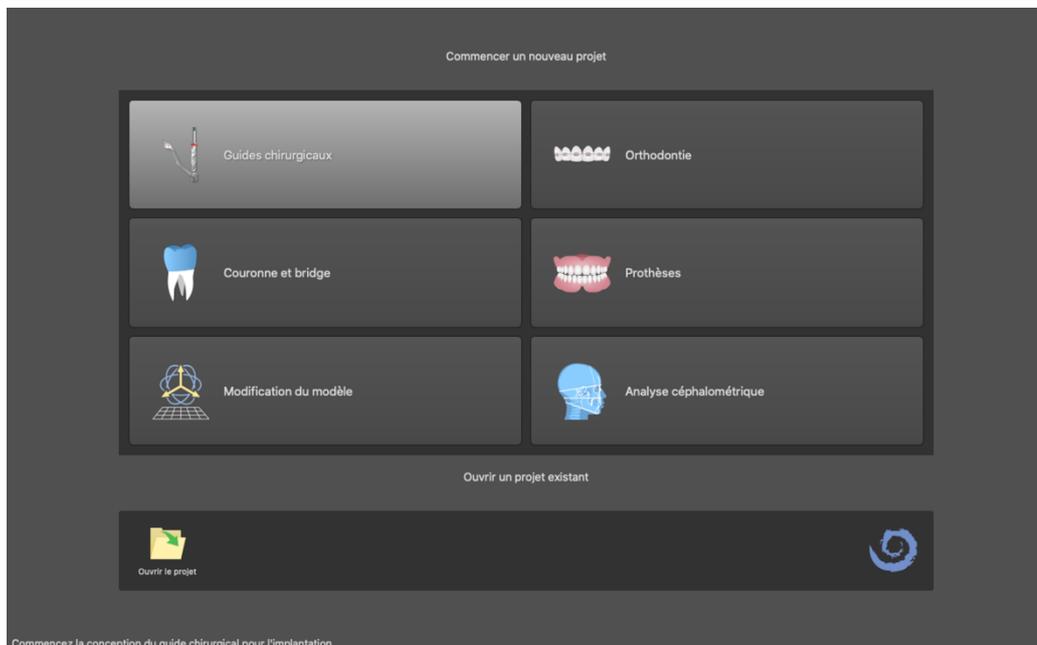


Figure 28 : Ouverture de BlueSkyPlan.

- Cliquer sur « Importer une numérisation CT du patient » (Figure 29).

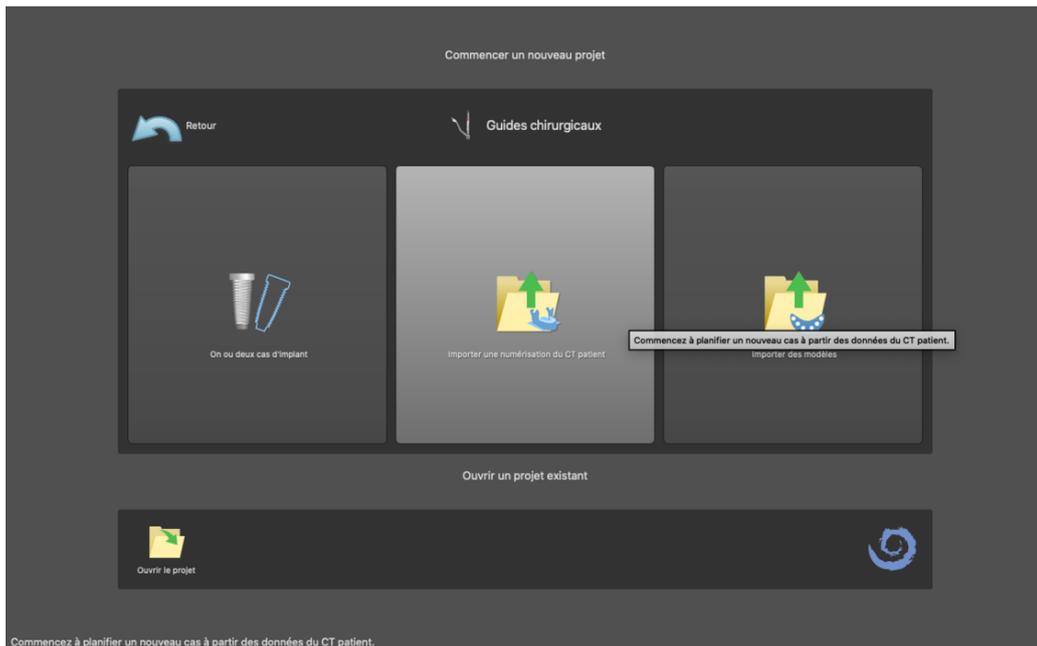


Figure 29 : Importer une numérisation du CT Patient.

- Charger les données en cliquant sur le dossier contenant le Cone-beam du patient en qualité maximale.
- Définir la région d'intérêt en déplaçant les bords des cadres jaunes sur les limites du volume concerné (Figure 30).

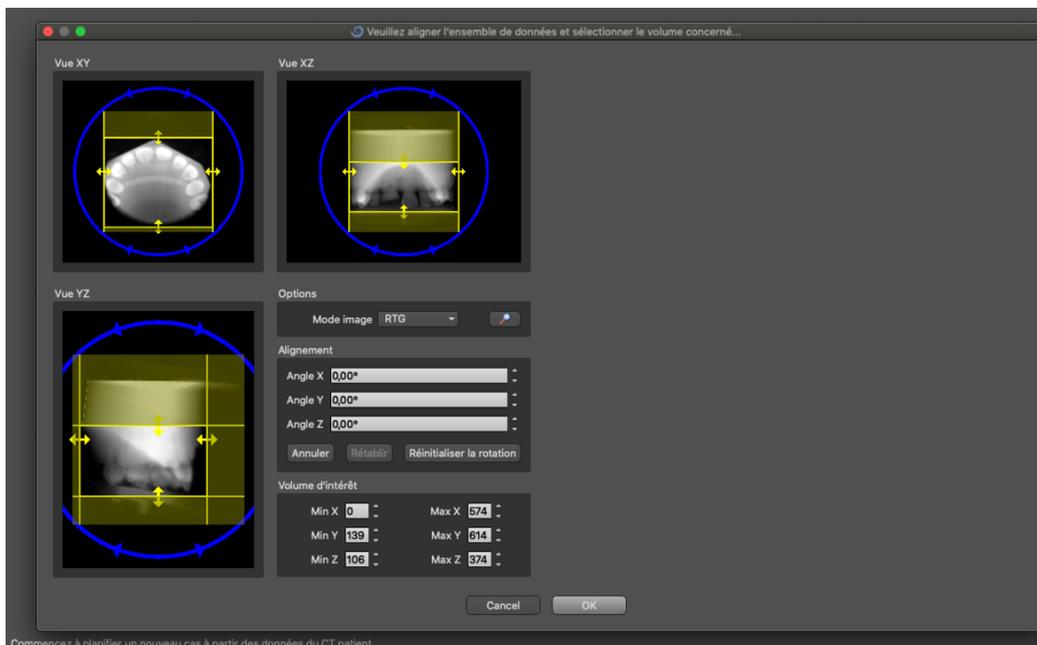


Figure 30 : Définition de la région d'intérêt.

- A ce stade il est possible de modifier les contrastes et la luminosité des images afin d'optimiser le rendu visuel.
- Cliquer sur « Outils » puis sélectionner l'outil « Tracer la courbe » pour tracer la courbe passant par le centre des couronnes sur l'ensemble de l'arcade (Figure 31).

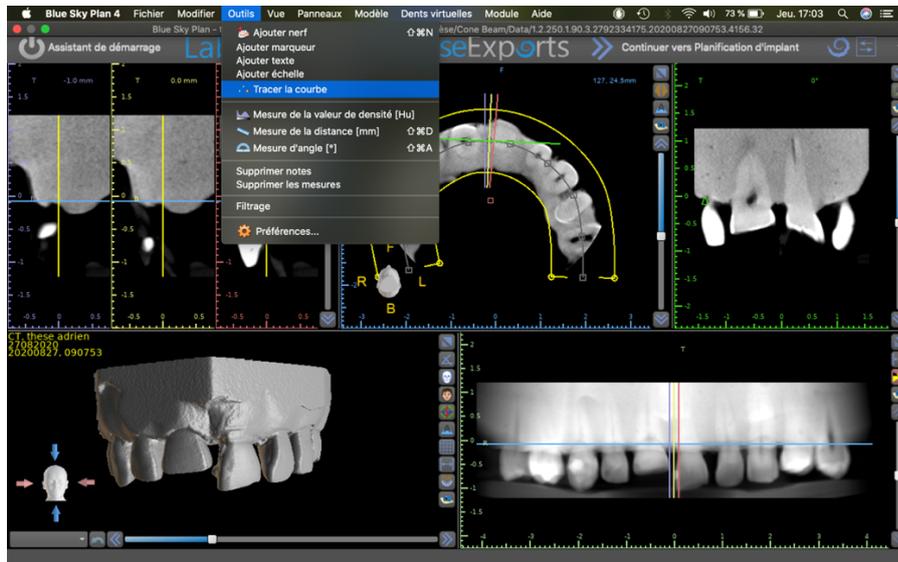


Figure 31 : Sélection de l'outil « tracer la courbe ».

- Sur une coupe axiale au niveau de la jonction couronne/racine, cliquer pour positionner les points au centre des dents, au niveau pulpaire. Faire un double-clic pour valider le positionnement du dernier point afin de définir la courbe (Figure 32). Il est possible de modifier le volume compris dans cette courbe en jouant sur le positionnement de l'arc jaune.

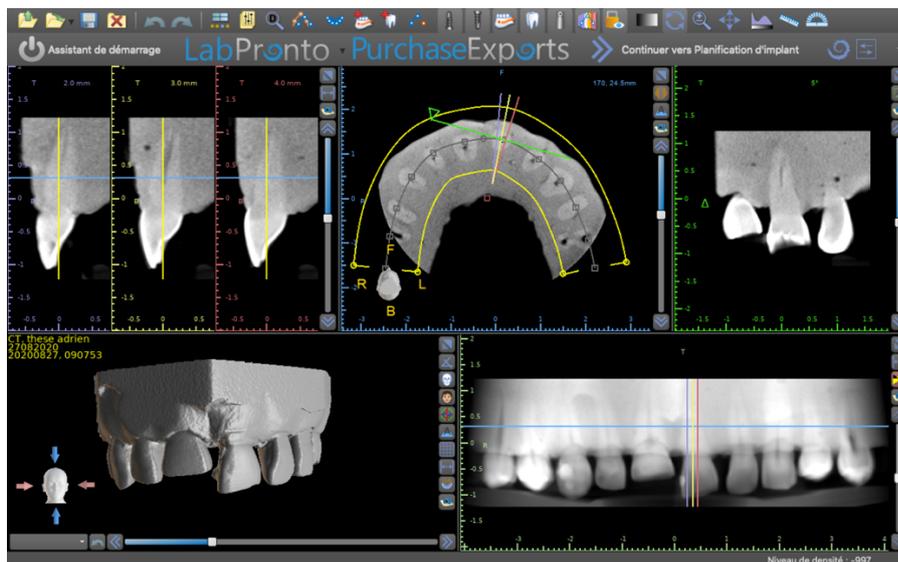


Figure 32 : Validation de la courbe.

- Pour un confort visuel, il est possible de masquer les projections de la courbe en cliquant sur le bouton « Hide toutes les projections ».
- Cliquer sur « Fichier » puis « Importer le modèle STL » (Figure 33).

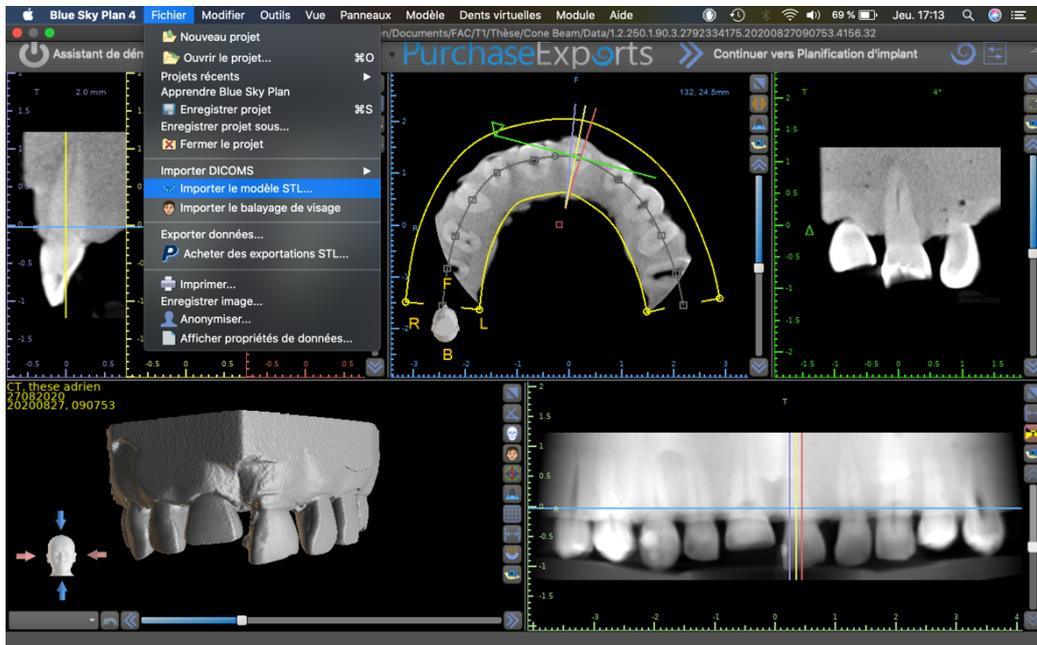


Figure 33 : Sélection du modèle .STL.

- La registration (superposition) du fichier .DICOM (Cone-beam) et .STL (Modèle numérique) se fait automatiquement. Cependant il est possible de l'affiner ou bien de la réaliser manuellement en cliquant sur « Points » dans le volet droit « Alignement » (Figure 34).

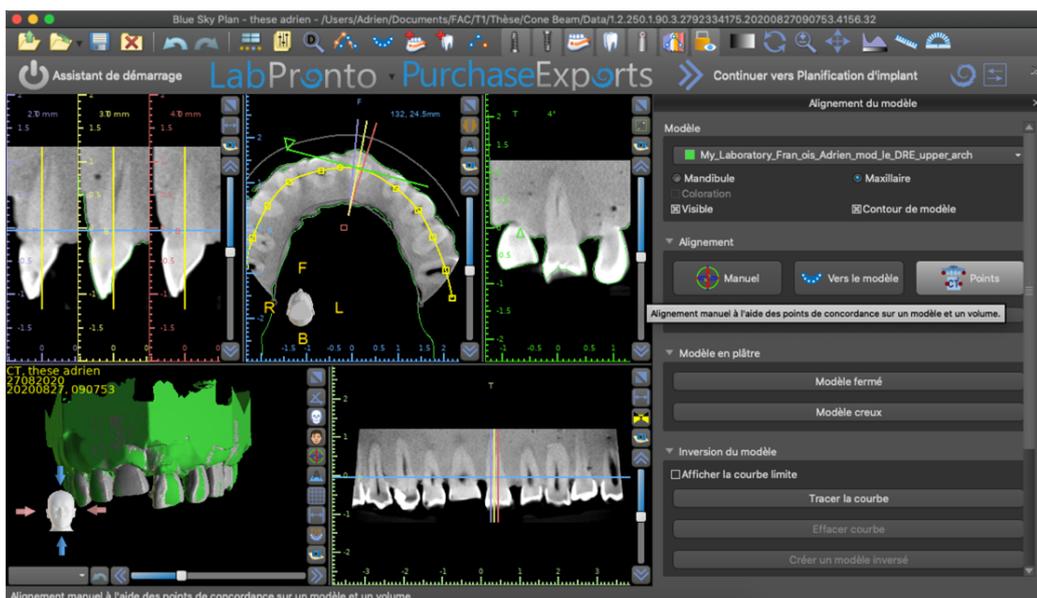


Figure 34 : Sélection manuelle de la registration des fichiers .DICOM et .STL.

- Cliquer pour positionner les points rouges sur le centre de la face vestibulaire de chaque dent (Figure 35). Il est nécessaire de retrouver le même nombre de points sur les 2 vues. Cliquer sur « OK » pour valider.

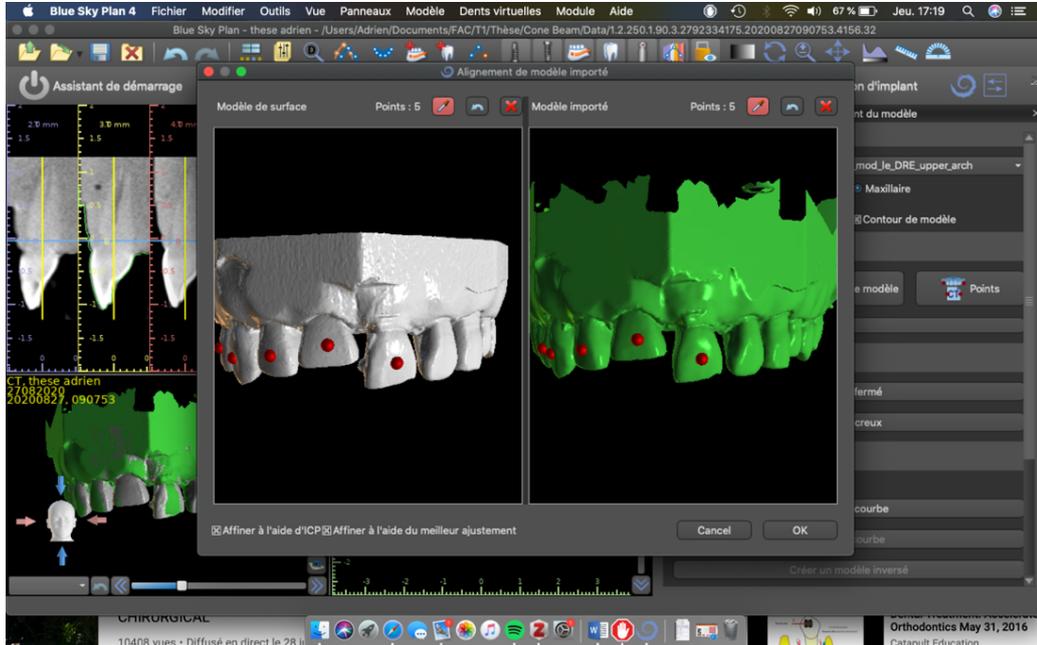


Figure 35 : Positionnement des points pour réaliser la registration manuellement.

- Contrôler la registration en vous déplaçant dans le volume sur les différentes vues. Le volume du cone-beam et le modèle numérique de l’empreinte doivent être parfaitement superposés (Figure 36).

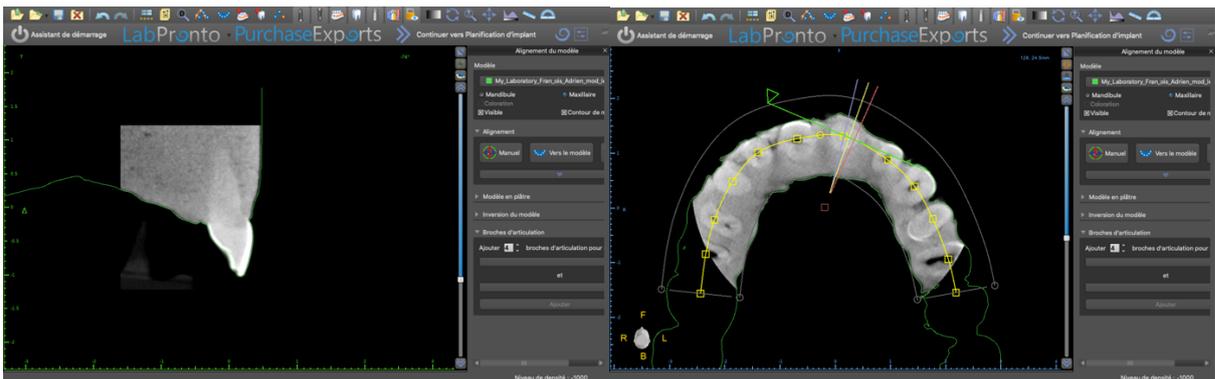


Figure 36 : Vérification de la registration (superposition) sur une coupe sagittale et transversale.

- Cliquer sur « Continuer vers Planification d'implant » (Figure 37).

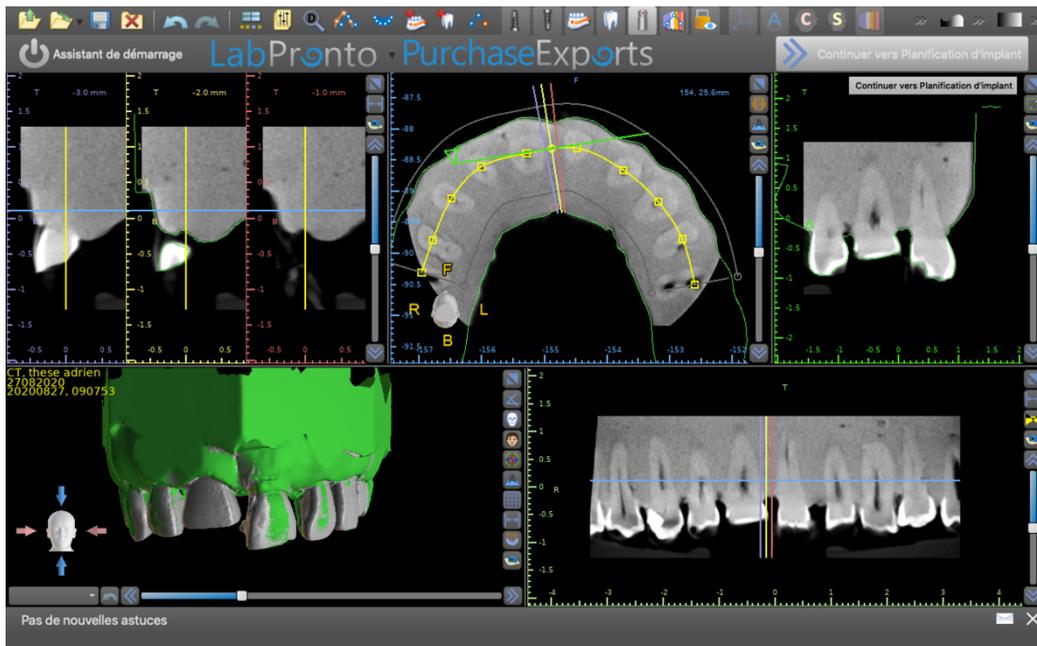


Figure 37 : Passage à la planification implantaire.

- Cliquer sur « Panneau de guidage » (Figure 38).

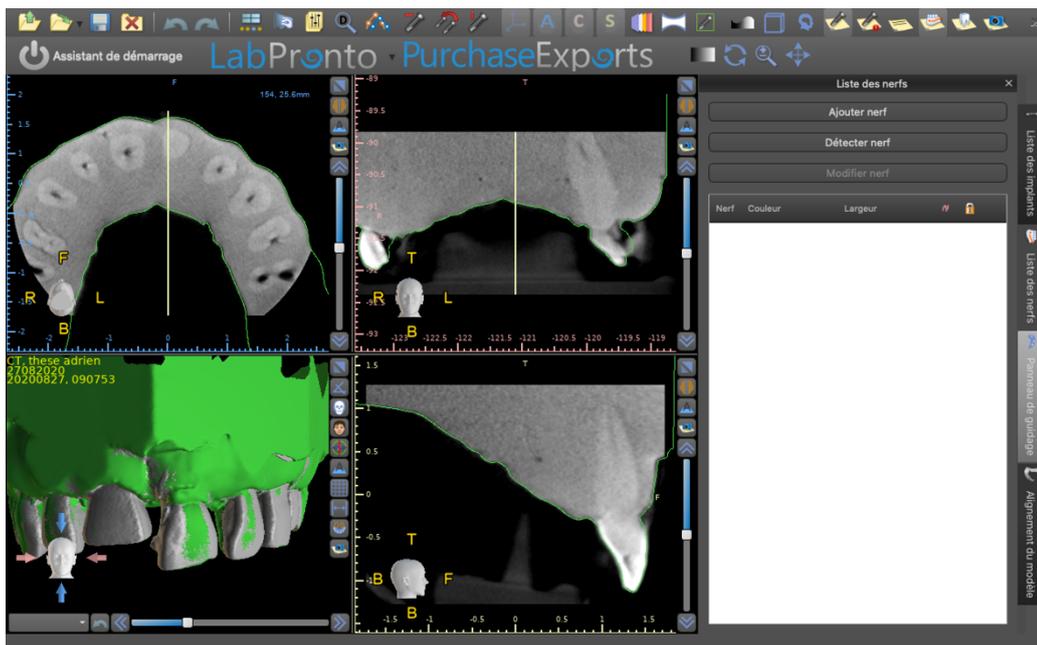


Figure 38 : Sélection du « Panneau de guidage ».

- Cliquer sur « Basculer sur panneau Guide avancé » (Figure 39).

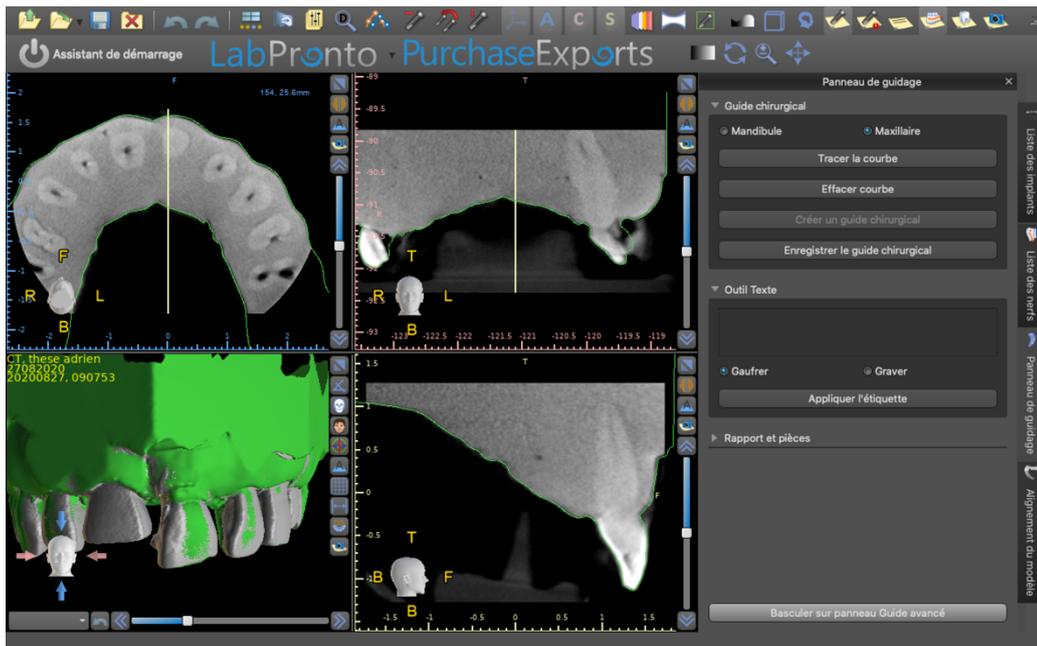


Figure 39 : Sélection du panneau de guide avancé.

- Cliquer sur « Ajouter implant » (Figure 40).

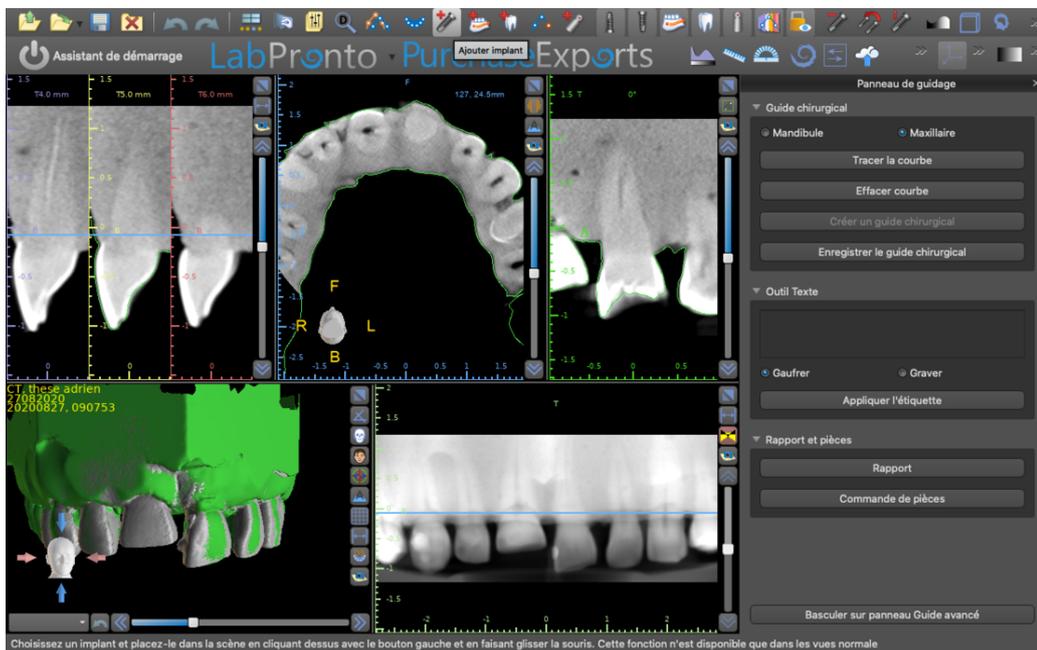


Figure 40 : Ajouter un implant.

- Sélectionner « Implant personnalisé » et entrer les dimensions de la longueur et du diamètre apical et occlusal du foret que vous utiliserez pour récupérer la perméabilité canalaire (Figure 41).

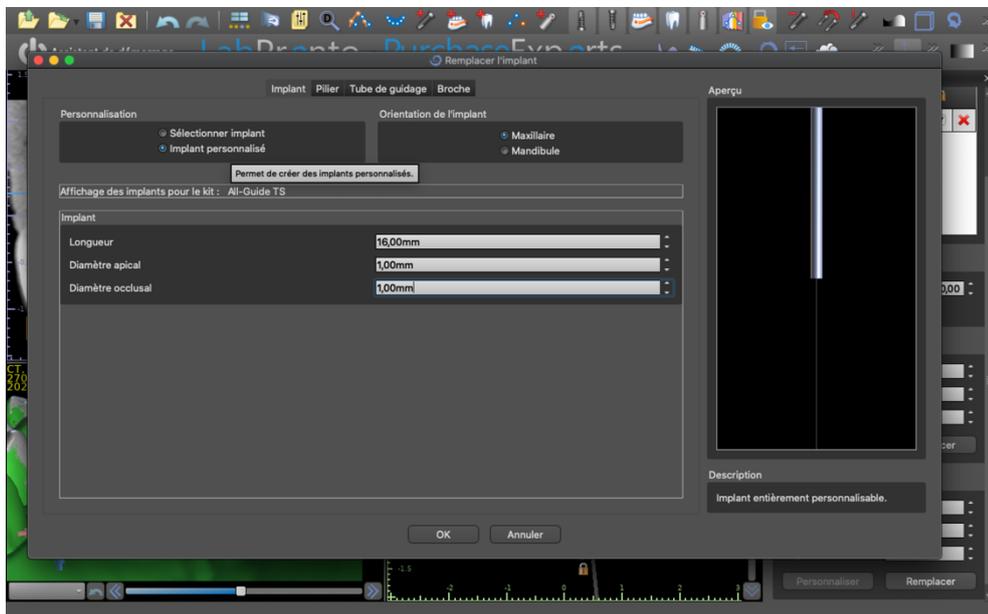


Figure 41 : Création d'un implant personnalisé aux dimensions du foret.

- Cliquer sur « OK ».
- Cliquer sur l'une des vues sur la dent à traiter pour ajouter la modélisation du foret.
- Cliquer sur « Remplacer » dans le panneau latéral droit sous la section « Implant personnalisé » (Figure 42).

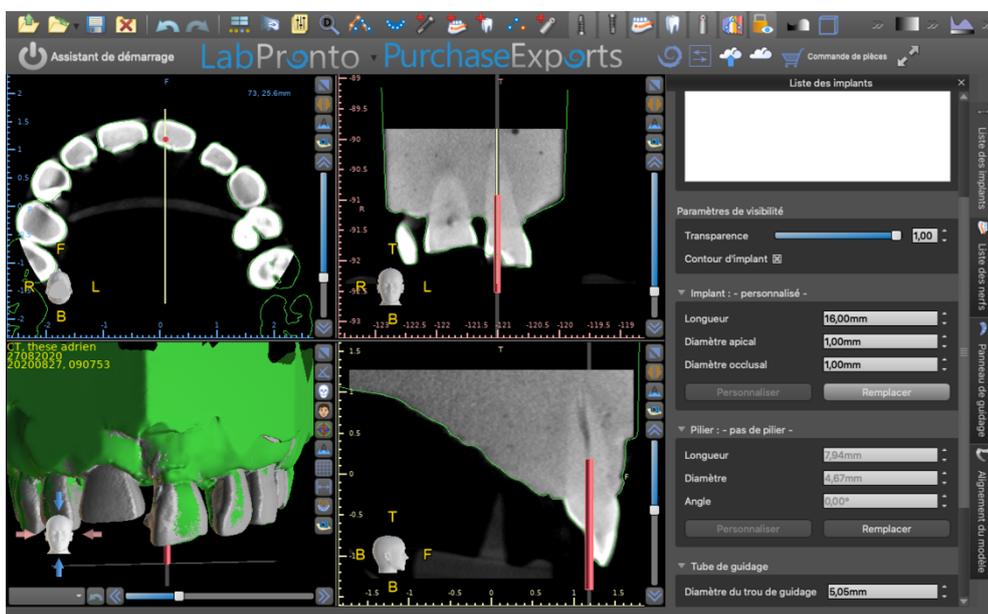


Figure 42 : Accès aux modifications de l'implant personnalisé.

- Cliquer sur « Tube de guidage » (Figure 43).

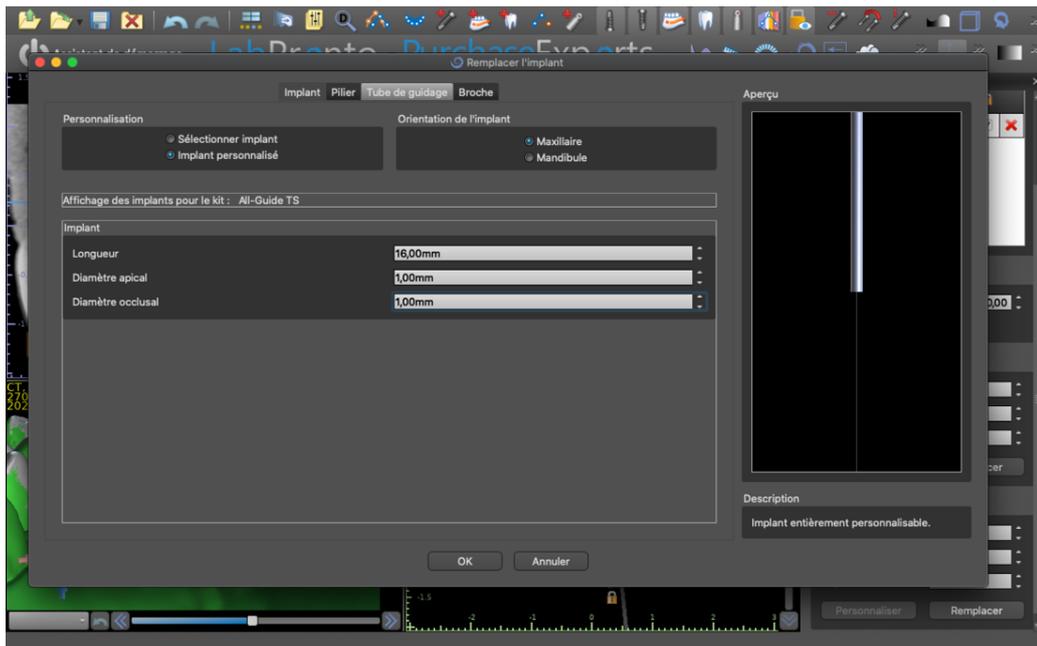


Figure 43 : Sélection du tube de guidage.

- Entrer la dimension du diamètre du trou de guidage correspondant au diamètre externe de la douille que vous utiliserez, puis cliquer sur « Afficher le tube de guidage dans l'aperçu » (Figure 44).

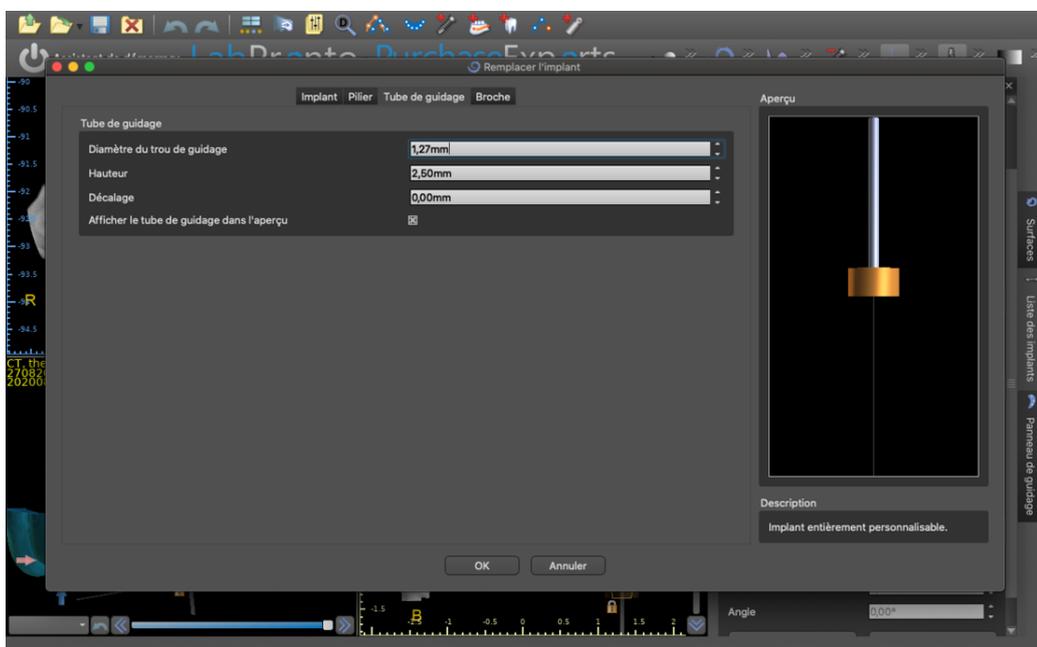


Figure 44 : Création d'un tube de guidage adapté au foret.

- Cliquer sur « OK ».

- Sur le panneau latéral il est possible de sélectionner l'outil pour afficher ou non la douille, ainsi que d'ajuster la « Transparence » du foret afin de faciliter sa visualisation à votre convenance (Figure 45).

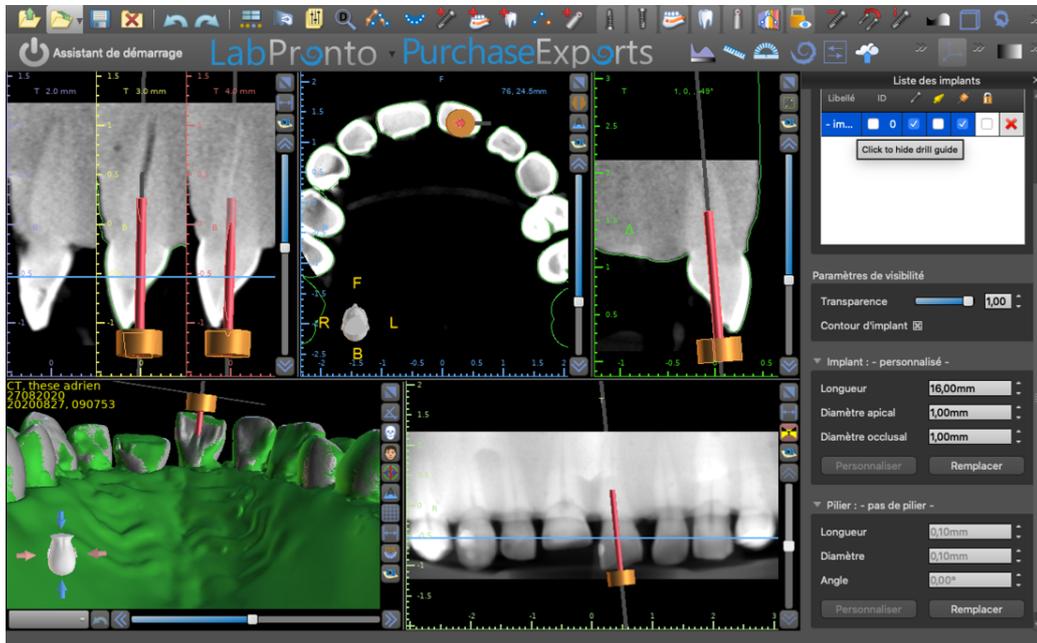


Figure 45 : Sélection de l'outil d'affichage de la douille et de la transparence du foret.

- Verrouiller le foret après avoir contrôlé son positionnement dans tous les plans de l'espace afin d'obtenir l'axe de forage idéal. Pour cela il existe 2 méthodes, soit cliquer droit sur le foret puis cliquer sur « Verr. Implant », soit cocher la case correspondante dans le panneau latéral (Figure 46).

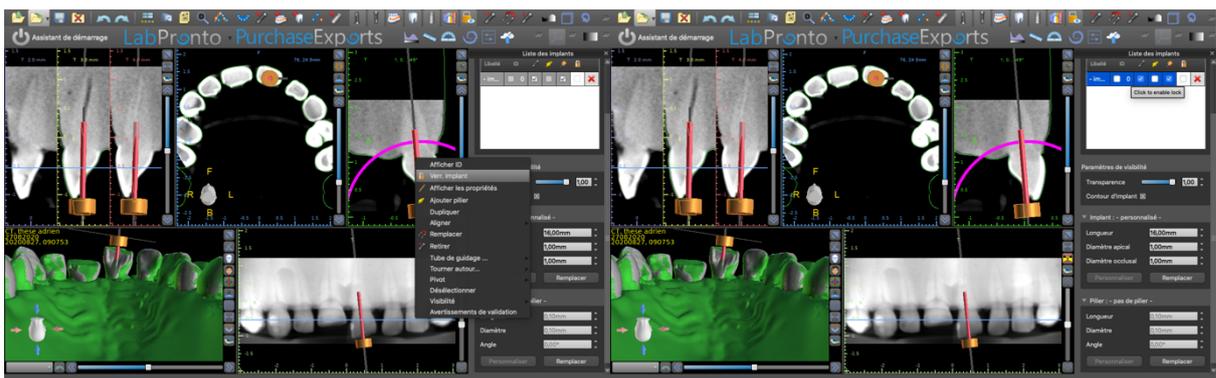


Figure 46 : Verrouillage du foret.

- Cliquer sur « Panneaux » (Figure 47).

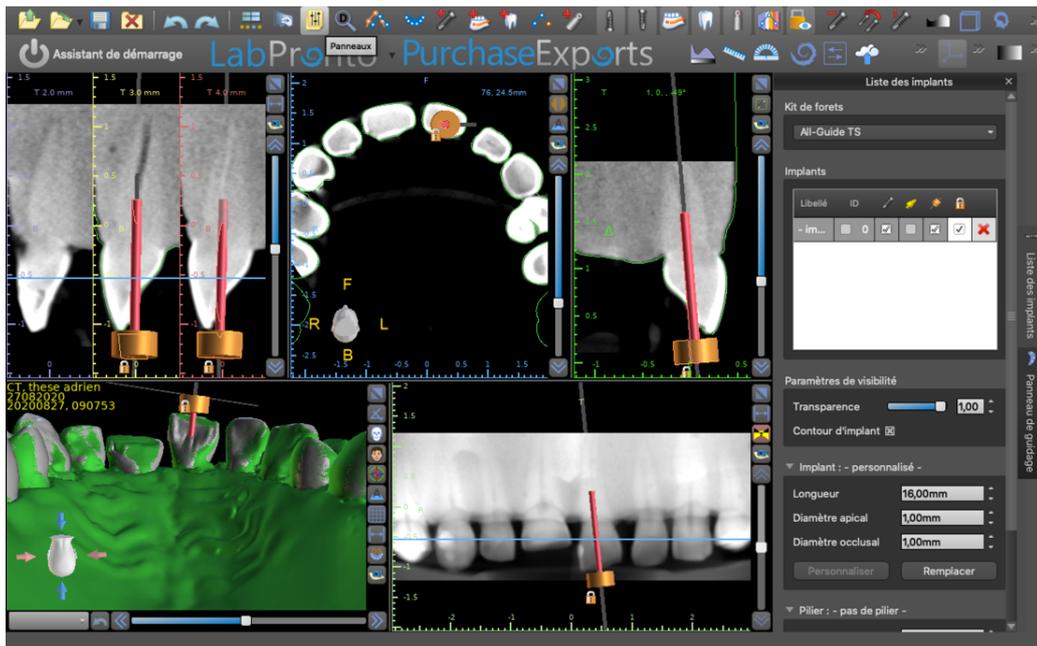


Figure 47 : Sélection de l'outil « Panneaux ».

- Cliquer sur « Fabrication Guide » (Figure 48).

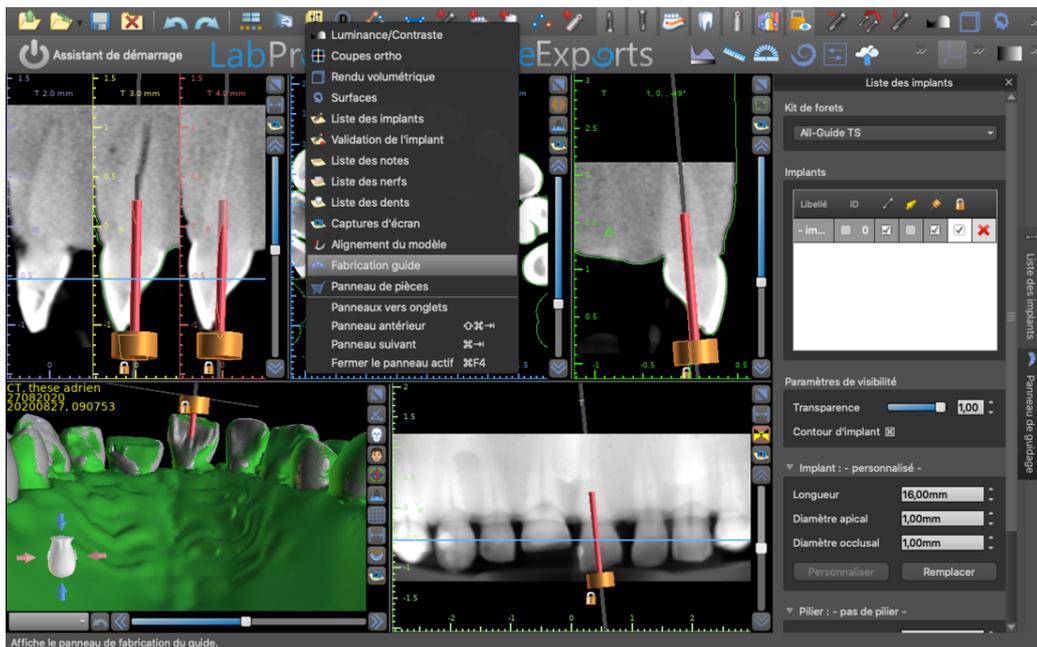


Figure 48 : Sélection du panneau de fabrication du guide.

- Cliquer sur « Tracer la courbe » dans le panneau latéral (Figure 49).

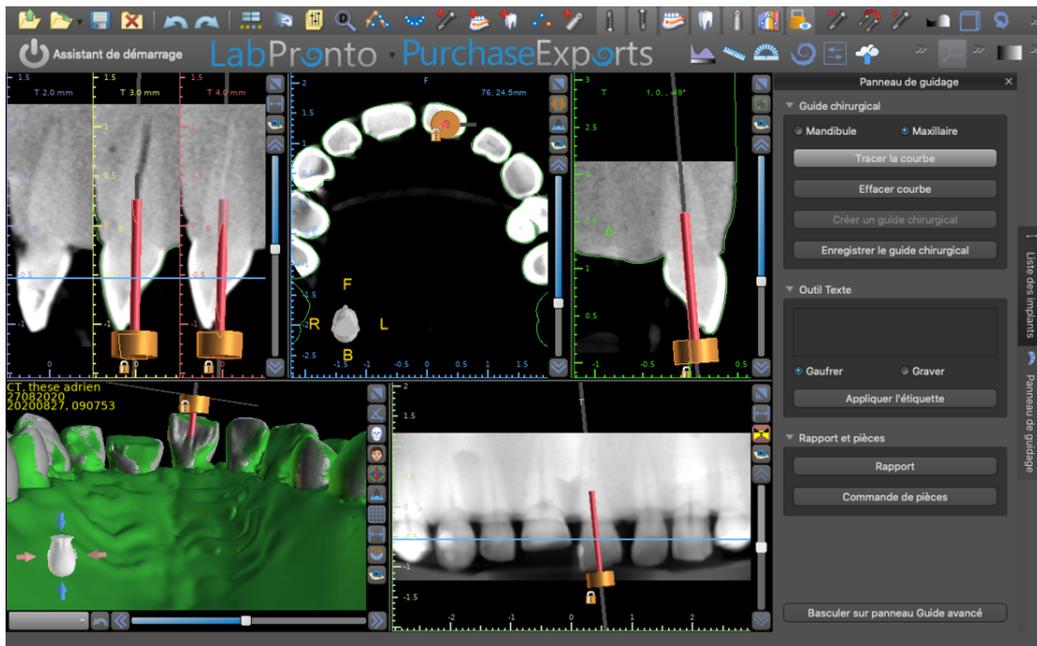


Figure 49 : Sélection de l'outil pour tracer la courbe (les limites) du guide.

- Sur la vue 3D, appuyer sur la touche « Shift » et cliquer pour tracer les limites du guide sur le modèle. Assurez-vous d'englober suffisamment de dents pour assurer une stabilisation et une sustentation suffisante (Figure 50).

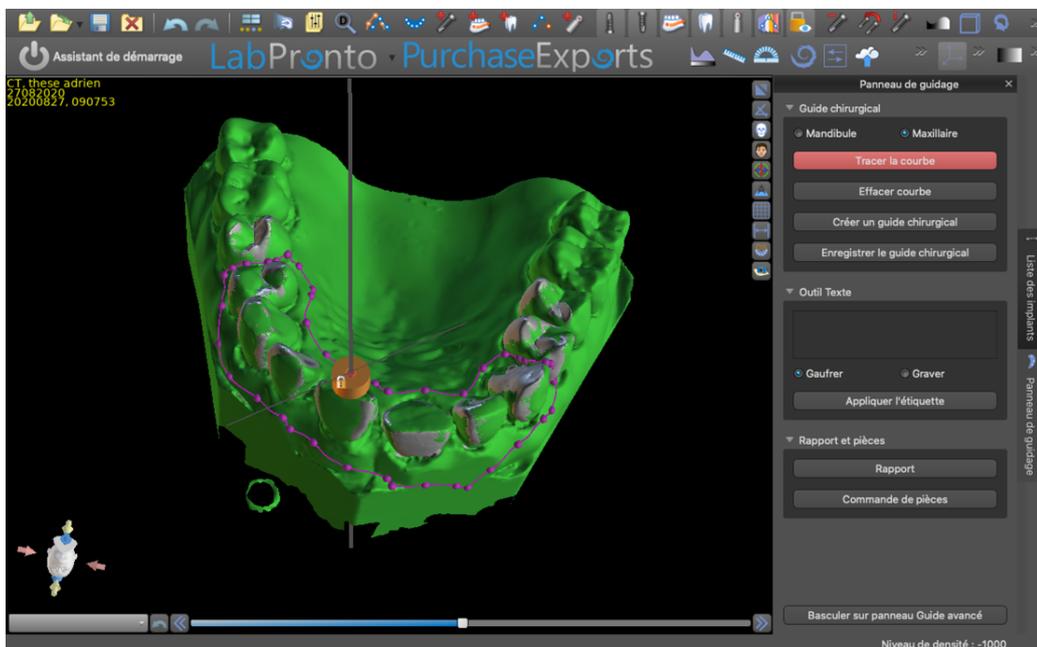


Figure 50 : Tracé des limites grossières du guide.

- Affiner le positionnement des limites du guide en déplaçant les sphères, à environ 2 mm de la ligne des collets (Figure 51).

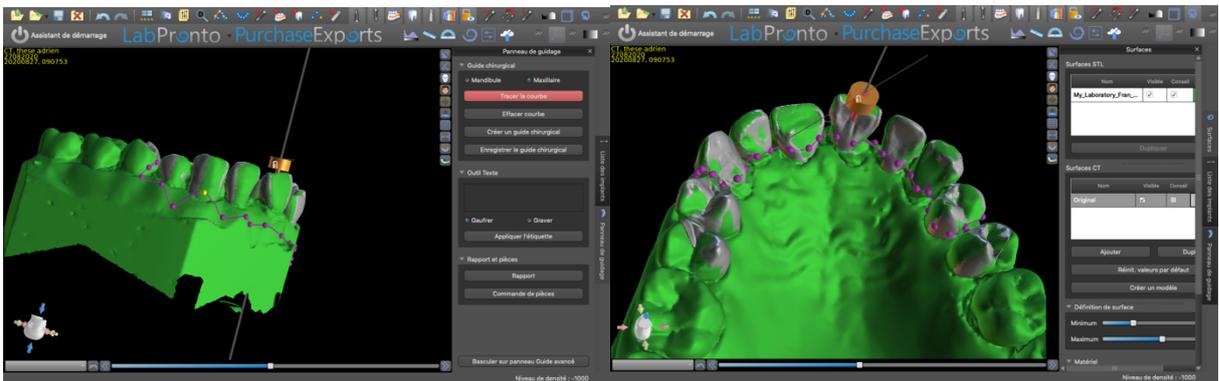


Figure 51 : Placement des limites du guide.

- Cliquer dans le panneau latéral sur « Créer un guide chirurgical » (Figure 52).

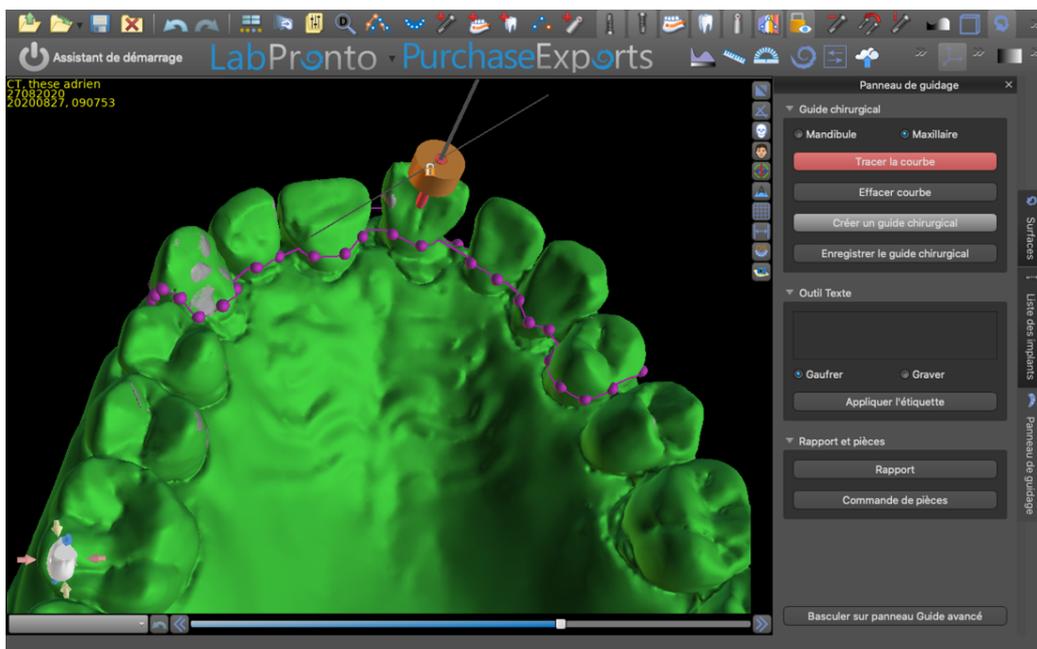


Figure 52 : Création du guide chirurgical.

- La modélisation du guide chirurgical s'affiche (Figure 53).

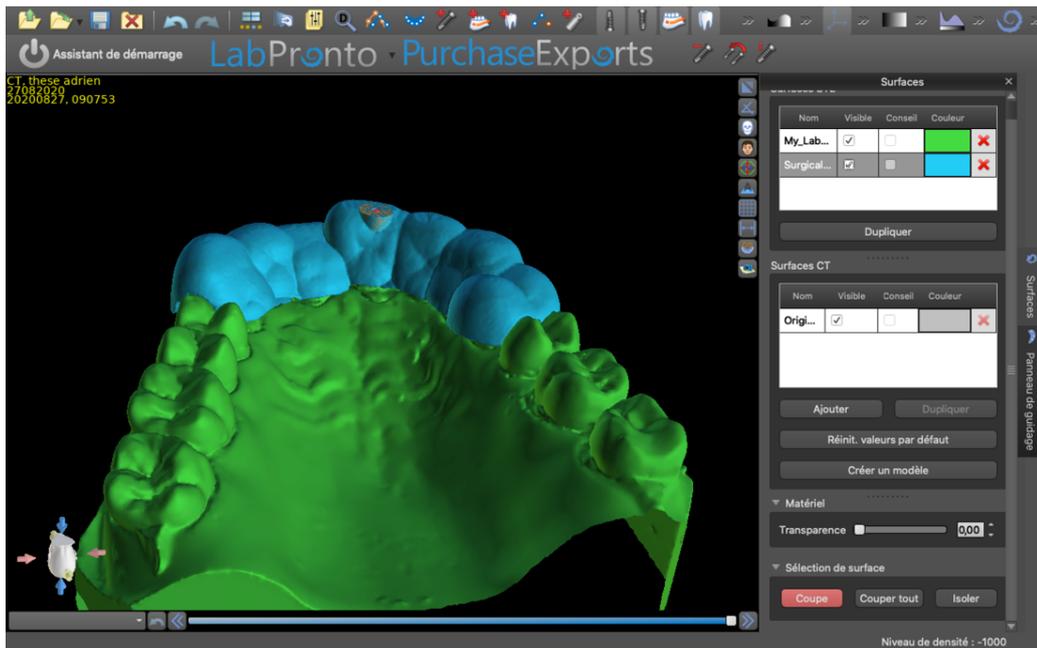


Figure 53 : Guide chirurgical modélisé.

- Cliquer sur « Fichier » et sélectionner « Exporter données » (Figure 54).

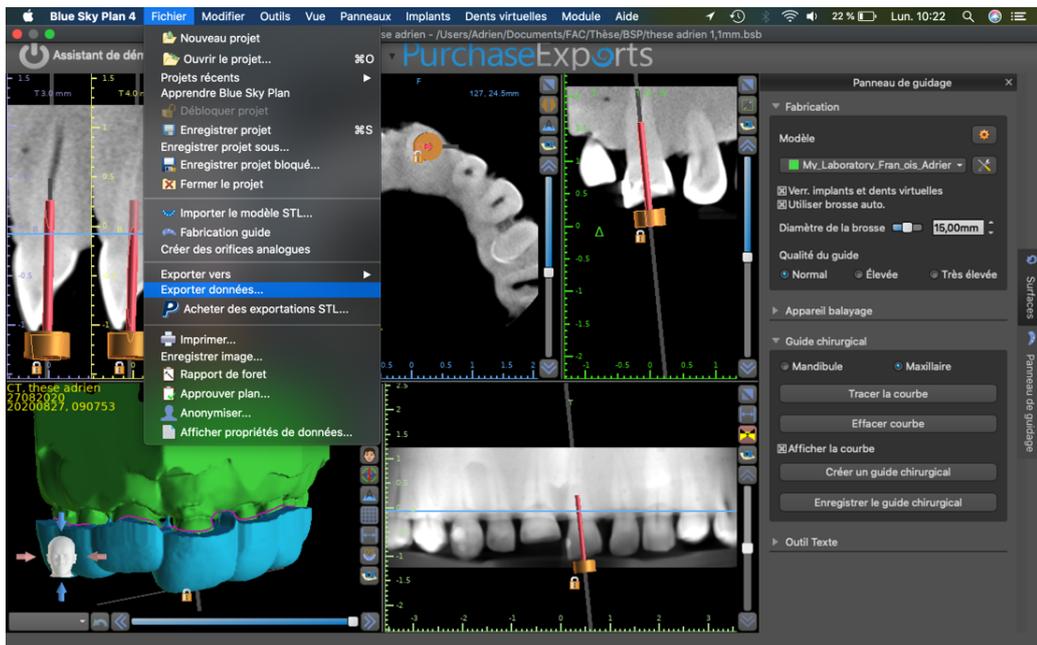


Figure 54 : Sélection de l'exportation des données.

- Sélectionner uniquement le guide en qualité très élevée, puis cliquer sur « Exporter ». Sauvegarder le fichier STL. du guide (Figure 55).

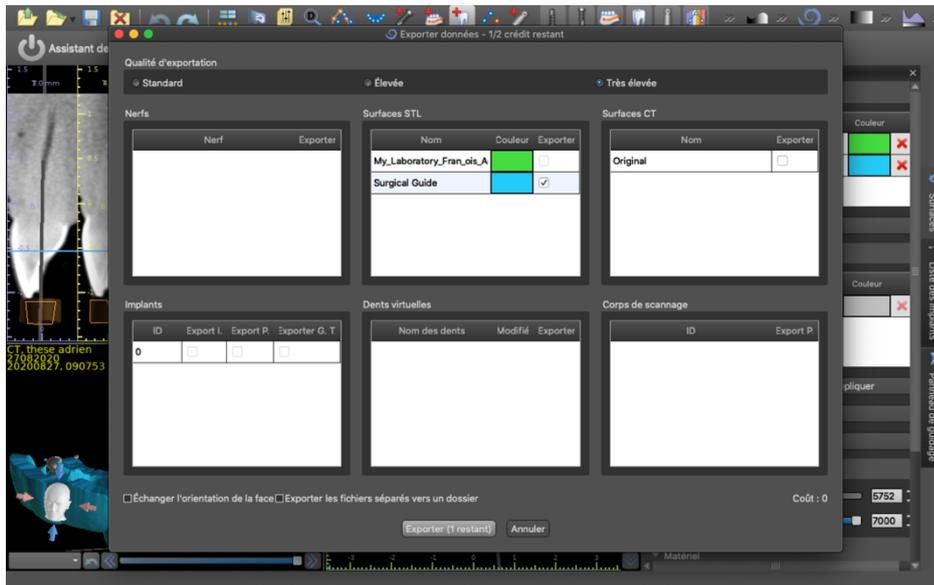


Figure 55 : Export au format STL. du guide chirurgical en qualité élevée.

5.4 Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO)

- Ouvrir le fichier STL. dans le logiciel PreForm.
- A l'ouverture du logiciel, sélectionner l'imprimante et la résine Surgical Guide (Dental SG V1). Contrôler le niveau de résine dans la cartouche, et déterminer l'épaisseur des couches souhaitées (50 μm). Cliquer sur « Appliquer » (Figure 56).

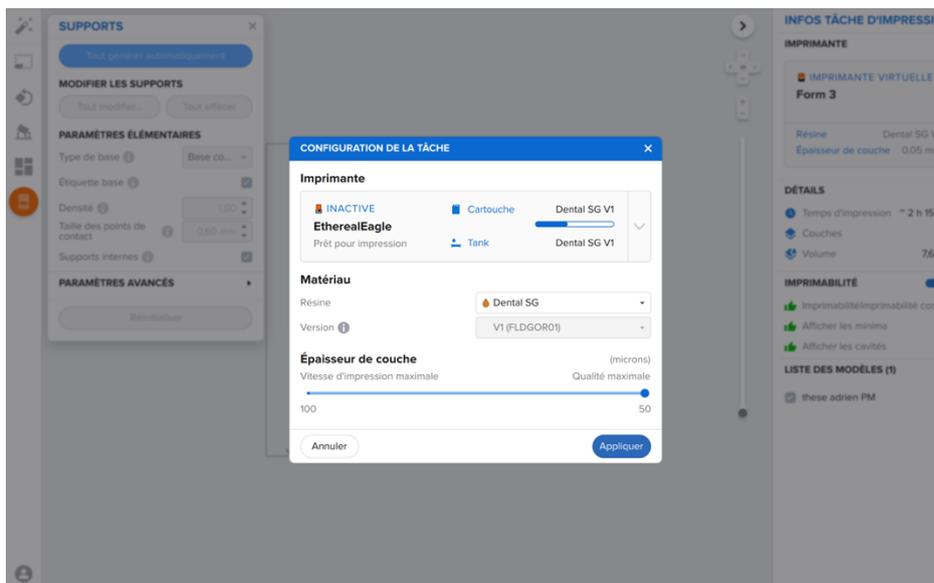


Figure 56 : Configuration des paramètres d'impression.

- Déplacer le modèle du guide pour le positionner sur le quadrillage correspondant au plateau d'impression en cliquant sur les flèches croisées (Figure 57).

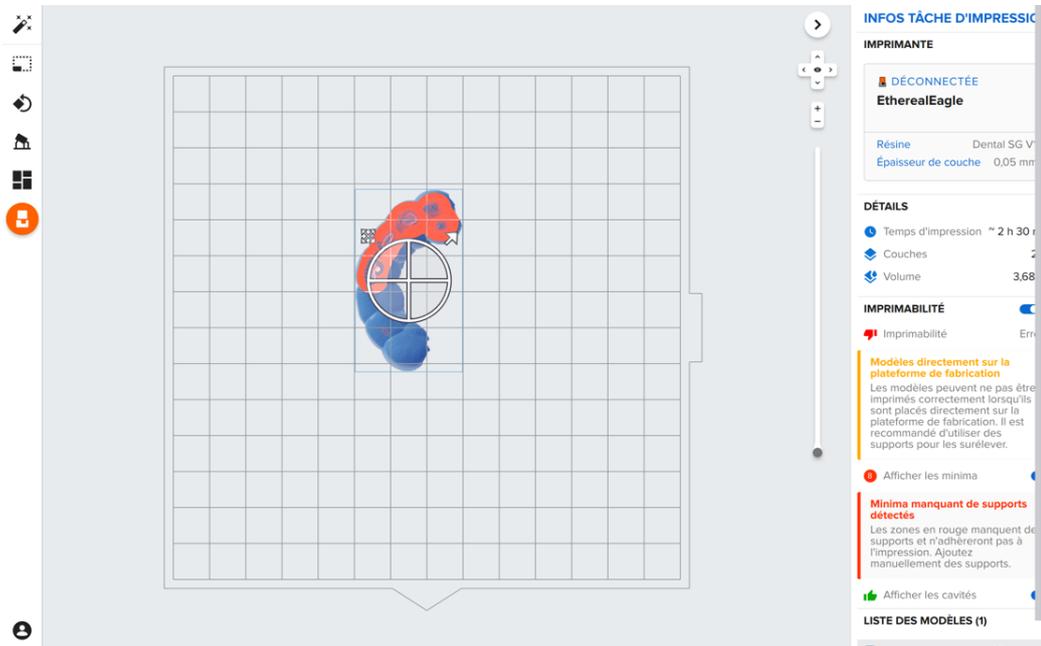


Figure 57 : Déplacement du guide sur le plateau.

- Orienter le guide de façon à ce que seul l'extrados soit positionné côté plateau, ainsi aucun support ne sera présent dans l'intrados (Figure 58).

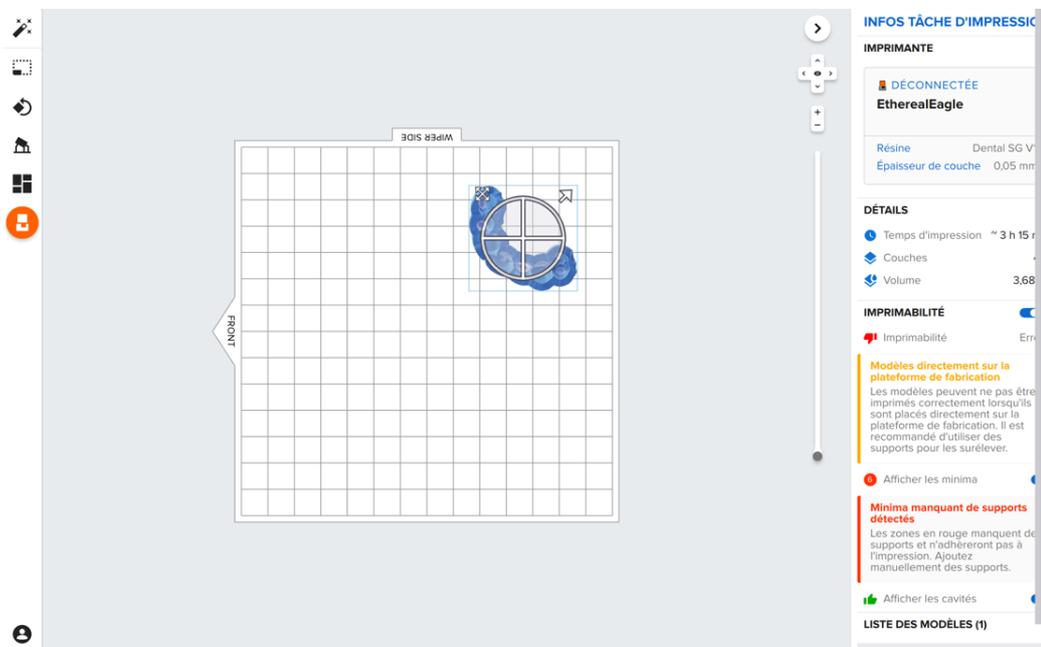


Figure 58 : Déplacement du guide dans les différents plans de l'espace.

- Vérifier l'orientation du guide sur les différentes vues du plateau en cliquant sur les flèches en haut à droite de l'écran (Figure 59).

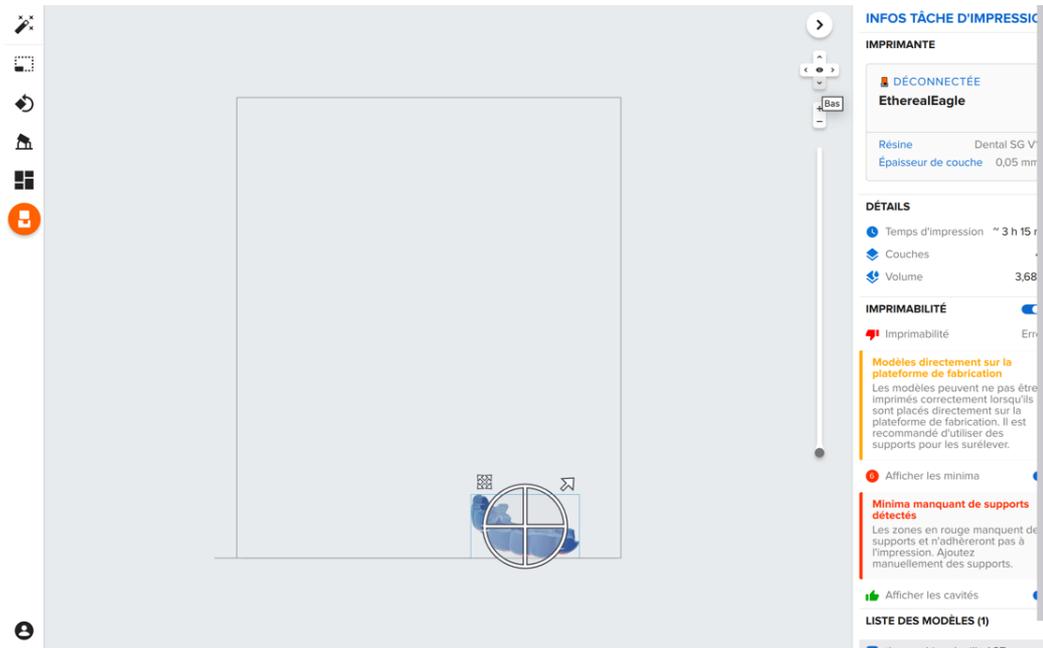


Figure 59 : Vérification de l'orientation du guide.

- Cliquer sur « Supports » (Figure 60).

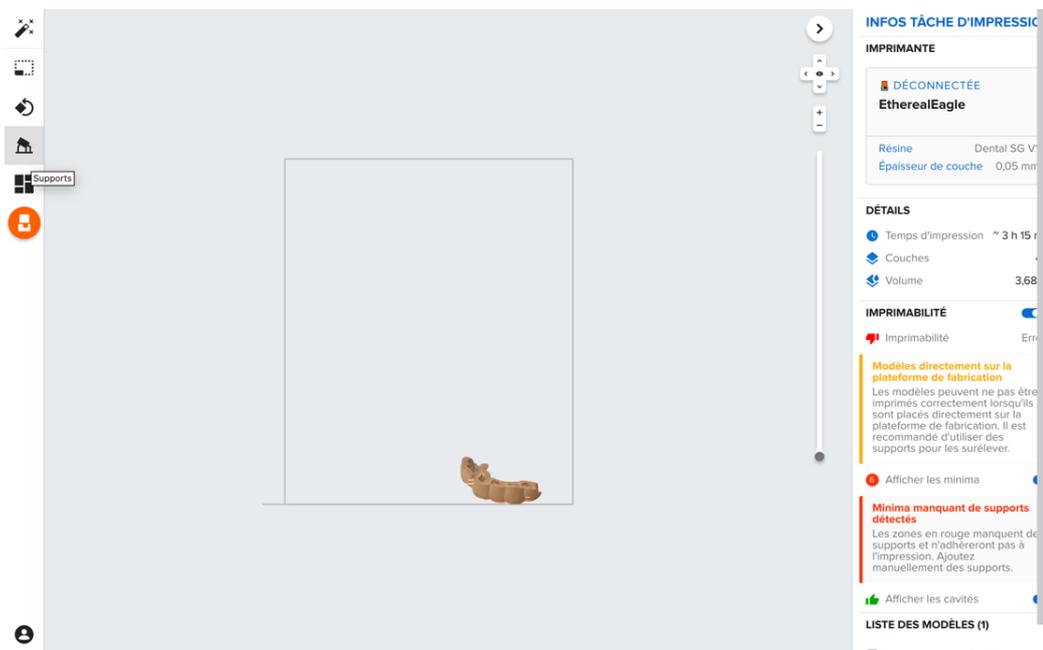


Figure 60 : Sélection de l'outil « Supports ».

- Sélectionner la densité (1) et la taille des points de contact (0,6 mm), puis cliquer sur « Tout générer automatiquement » (Figure 61).

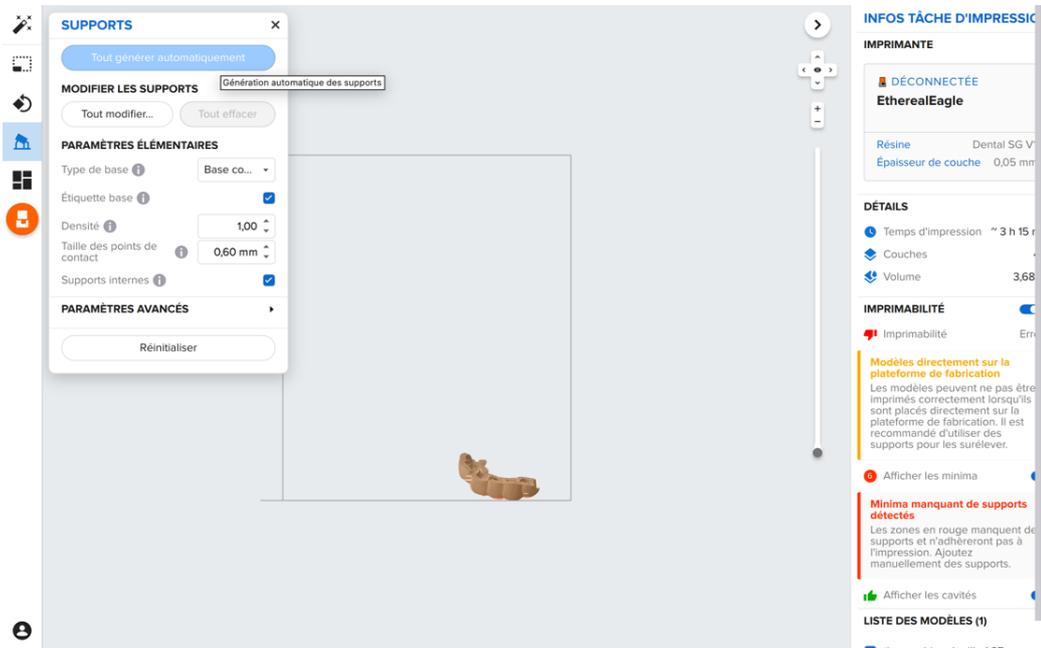


Figure 61 : Conception des supports.

- Cliquer sur « Tout modifier... » (Figure 62).

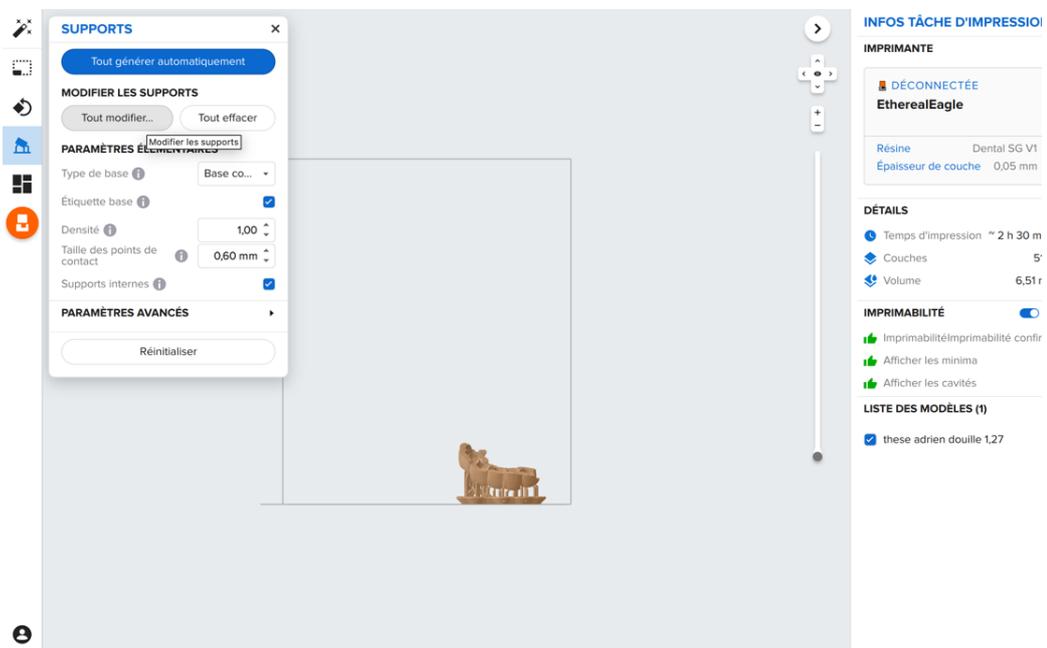


Figure 62 : Sélection de la modification manuelle des supports.

- Passer en vue occlusale et cliquer sur les points jugés trop proches du trou de forage (Figure 63).

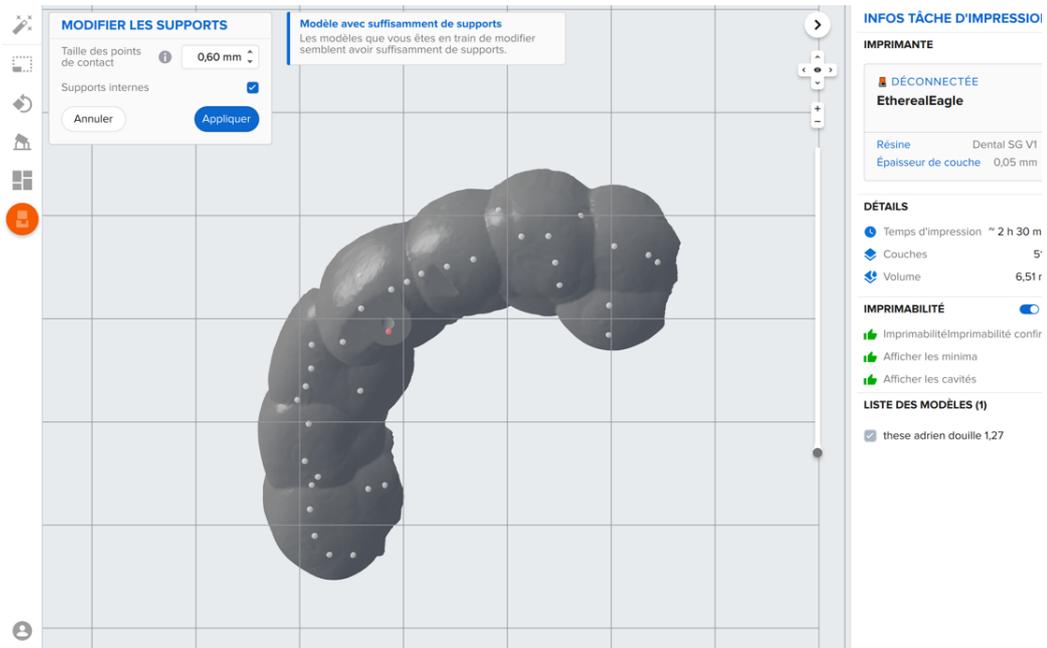


Figure 63 : Modification manuelle du positionnement des points de contact des supports.

- Les zones rouges signalent un emplacement où la résine est insuffisamment soutenue, cliquer dans cette zone pour y positionner un nouveau support (Figure 64).

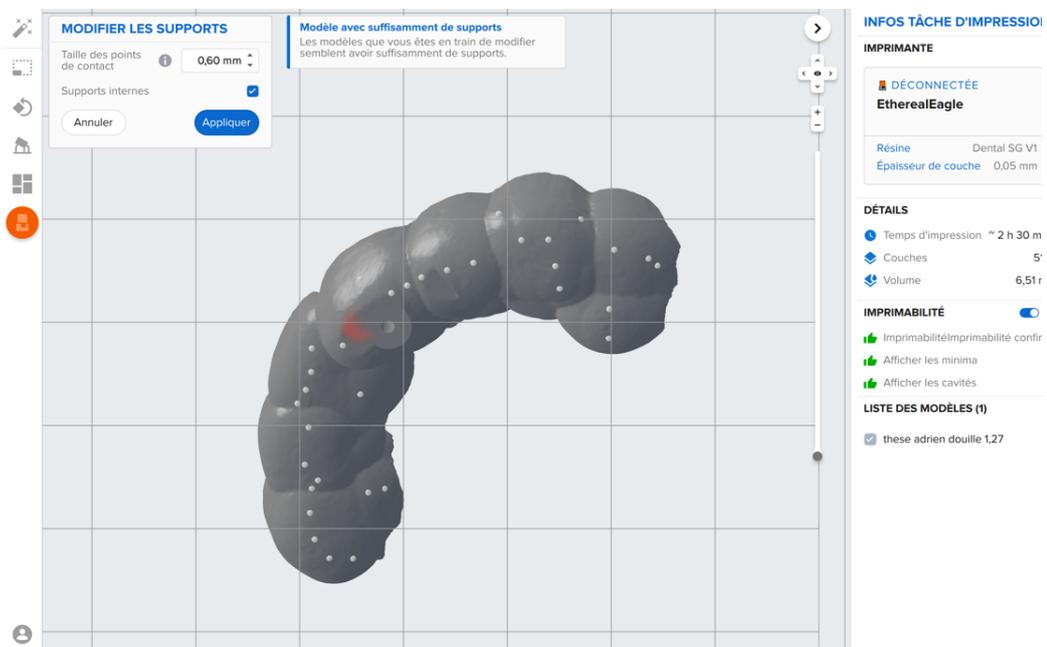


Figure 64 : Apparition d'une zone non soutenue en rouge par manque de support.

- Cliquer sur « Appliquer ». L'ordinateur contrôle alors l'imprimabilité du guide (Figure 65).

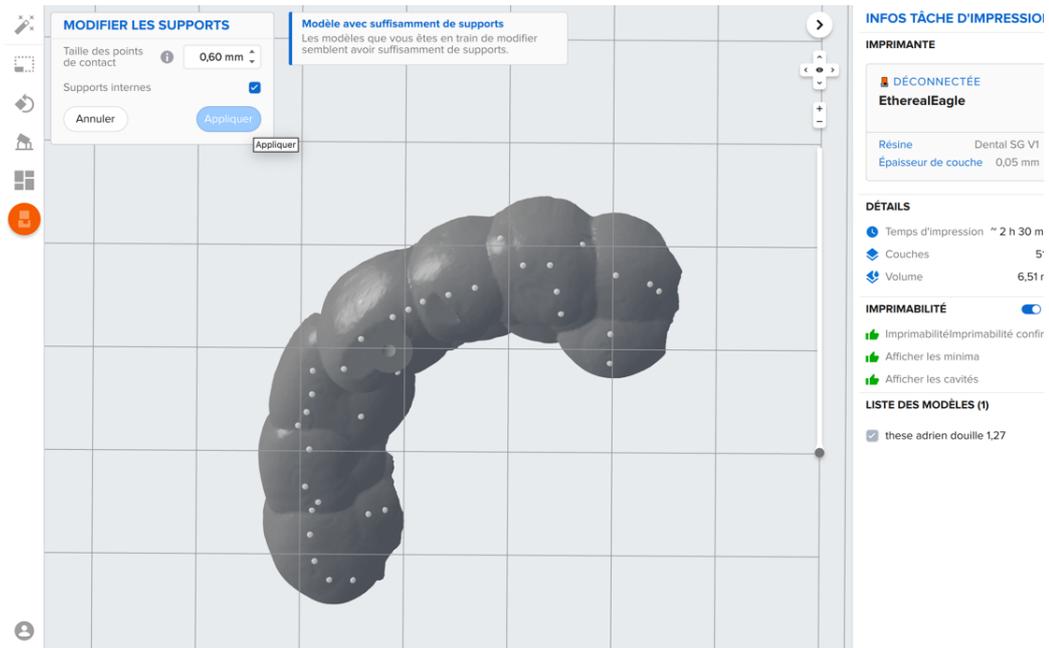


Figure 65 : Sélection de l'application de la modification des supports.

- Cliquer sur « Lancer une impression » (Figure 66).

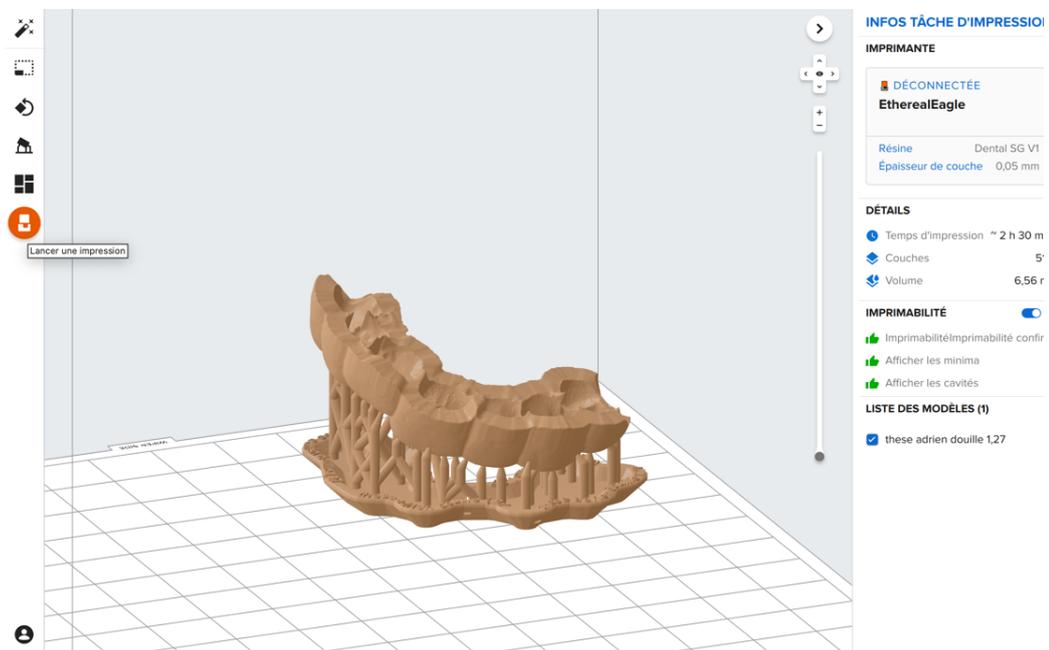


Figure 66 : Sélection du lancement de l'impression.

- Sélectionner l'imprimante, vérifier les paramètres et cliquer sur « Charger une impression » (Figure 67).

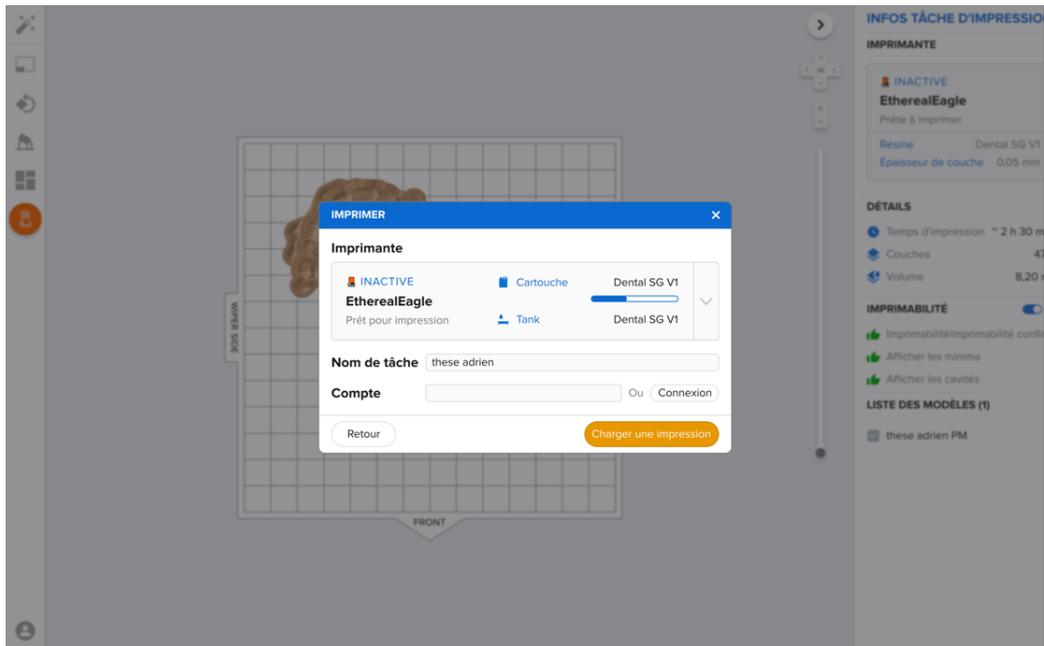


Figure 67 : Réglage des paramètres d'impression.

- Après impression, sortir le guide de l'imprimante et le nettoyer dans un bain d'alcool isopropylique pendant 20 minutes sous agitation, selon le protocole prescrit par le fabricant.
- Passer le guide dans un four à 60°C durant 60 minutes pour terminer la polymérisation.
- Sectionner les piliers de résine pour ne garder que le guide (Figure 68).

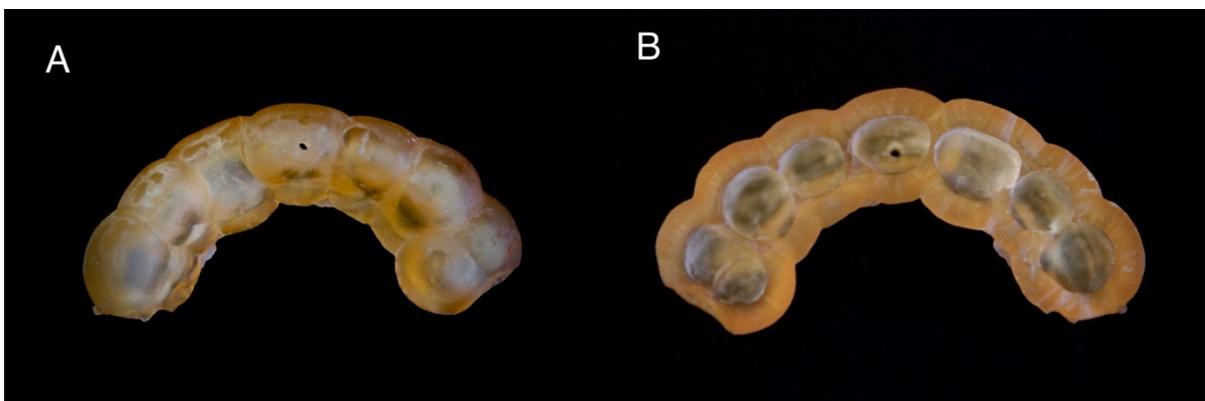


Figure 68 : Guide d'accès endodontique en résine Dental SG : vue occlusale (A) et intrados (B).

- Ajouter la douille métallique dans le tube de guidage (Figure 69).



Figure 69 : Guide d'accès endodontique en résine Dental SG avec la douille de forage en place : vue occlusale.

- Passer le foret dans le guide pour contrôler son insertion et son engainement. Vérifier qu'il n'y ait aucun jeu (Figure 70).

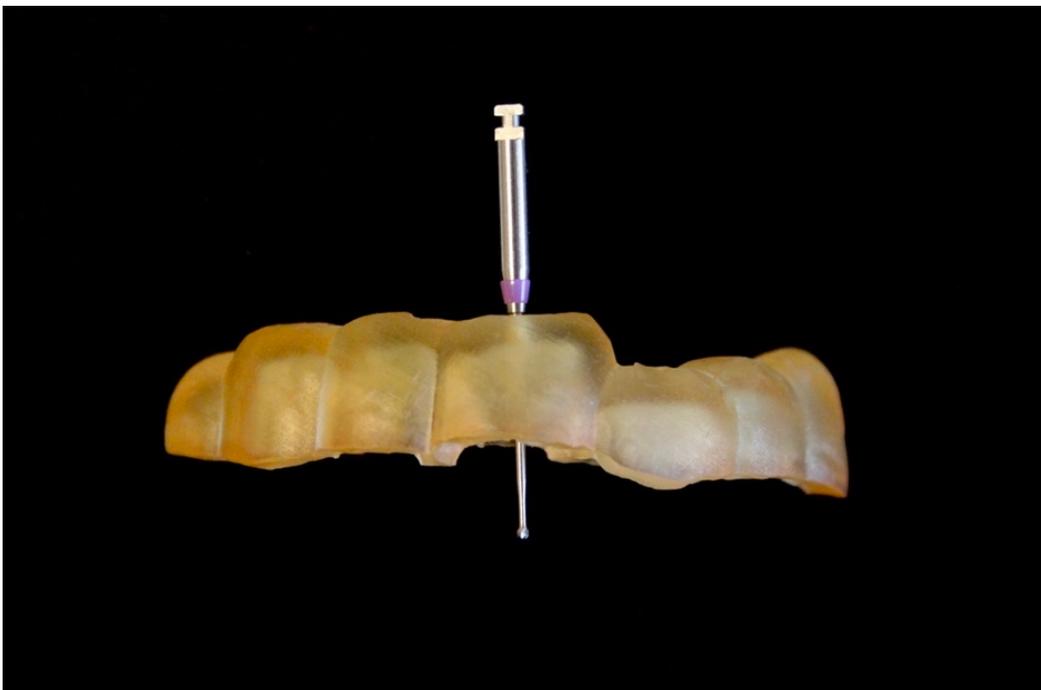


Figure 70 : Essayage du foret dans le guide d'accès endodontique.

- Positionner le guide sur le patient et contrôler son insertion et sa stabilité (Figure 71).



Figure 71 : Essayage du guide d'accès endodontique sur le modèle ex-vivo.

A ce stade, le guide d'accès endodontique orthograde statique est terminé et prêt pour être utilisé.

5.5 Protocole clinique

- Placer le champ opératoire sur votre patient en réalisant une digue étendue qui englobe les dents adjacentes aux limites du guide (Figure 72).



Figure 72 : Pose du champ opératoire sur le modèle ex-vivo.

- Réaliser la cavité d'accès à l'aide d'une fraise boule diamantée montée sur turbine (Figure 73).



Figure 73 : Cavité d'accès sur la 21 minéralisée.

- Placer le guide et commencer le forage en exerçant une pression en direction apicale par vagues de 2 mm (Figure 74).



Figure 74 : Mise en place du guide et du champ opératoire.

- Associer à ceci une phase d'irrigation entre chaque vague pour éliminer les débris dentinaires. Un contrôle radiographique rétro-alvéolaire doit être réalisé régulièrement afin de contrôler l'absence de déviation d'axe du foret (Figure 75).



Figure 75 : Radiographies rétro-alvéolaires de contrôle.

- Une fois la longueur de forage prédéterminée atteinte, réaliser un cliché radiographique rétro-alvéolaire de contrôle. Puis contrôler la perméabilité canalaire à l'aide d'une lime K10 pré courbée (Figure 76).

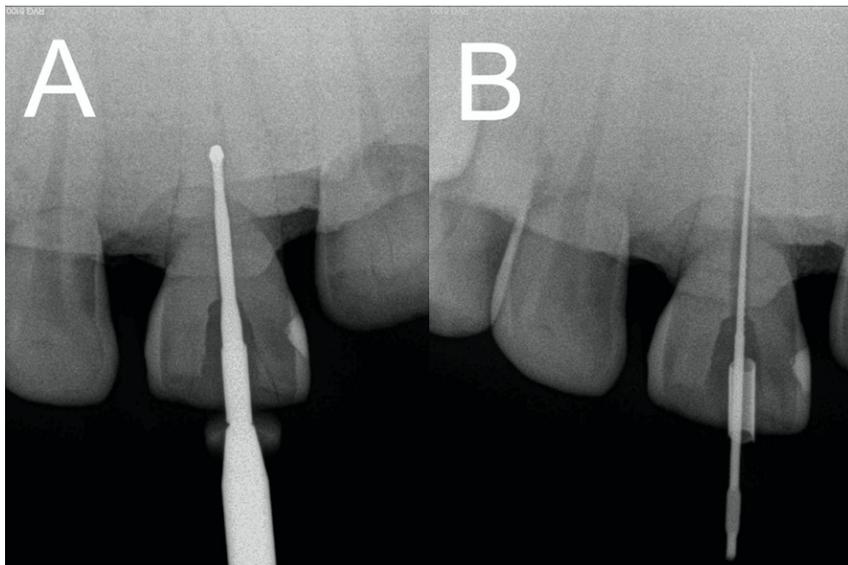


Figure 76 : Radiographies rétro-alvéolaires de contrôle foret en place (A) et lime en place (B).

6 Conclusion

L'objectif de cette thèse, était de réaliser un tutoriel pour les praticiens afin qu'ils puissent eux-mêmes concevoir et fabriquer leur guide d'accès endodontique orthograde pour dent minéralisée.

Afin d'y parvenir, un modèle *ex-vivo* a été fabriqué, puis l'ensemble des étapes de conception et de fabrication ont été illustrées en utilisant les logiciels BlueSkyPlan et Preform. Le tutoriel permet la production d'un guide d'accès avec une douille métallique. Ce guide fonctionnel a permis de retrouver la perméabilité canalaire de manière plus sécurisée que par la recherche d'un canal par technique conventionnelle. Le tutoriel est réalisé pour comprendre et reproduire chaque étape de l'utilisation d'un tel dispositif, depuis sa conception jusqu'à son utilisation clinique. Enfin, une fiche récapitulative a été réalisée pour faciliter la mise en pratique et la diffusion du tutoriel.

A présent il est nécessaire de diffuser ce protocole standardisé pour permettre au plus grand nombre de chirurgiens-dentistes d'avoir les connaissances suffisantes pour entreprendre ce type de traitement et d'élargir ce tutoriel à d'autres plateformes de CFAO.

Table des figures

Figure 1 : Micrographies de dentine jeune et âgée obtenu par MEB aux grossissements .

x 5 000 et x 25 000 [24].

Figure 2 : Zones d'apposition de dentine secondaire. 1. Dentine primaire ; 2. Dentine secondaire. D'après SIMON, 2010 [28].

Figure 3 : Zones d'apposition de dentine tertiaire. 1. Lésion carieuse ; 2. Dentine tertiaire. D'après SIMON, 2010 [28].

Figure 4 : A : Mise en évidence d'un pulpolithe dans la chambre pulpaire ; B : Vue du plancher après élimination du pulpolithe [3].

Figure 5 : Photographie d'une coupe verticale d'une molaire mandibulaire cariée passant par la cavité pulpaire, permettant de visualiser la minéralisation réactionnelle de la dent face à la carie. Remerciements au Dr Bittar pour son illustration.

Figure 6 : Radiographie d'une dent minéralisée au niveau du tiers coronaire radiculaire.

Figure 7 : Cavité d'accès sur une molaire maxillaire après élimination du plafond (e) et une fois terminée avec mise ne évidence d'un second canal mésio-vestibulaire (MV2) (f) [29].

Figure 8 : Loupe binoculaires TTL.

Figure 9 : Microscope opératoire.

Figure 10 : Embouts à ultrasons.

Figure 11 : Fraises de Mueller.

Figure 12 : reproduction d'une dent par impression 3D. A [15] : image CBCT (gauche), prototype d'une dent (droite) ; B (image DELendo) : TrueTooth.

Figure 13 : Modèle chirurgical 3D pour autotransplantation montrant la position idéale de chaque dent [32].

Figure 14 : Guide chirurgical créé par CFAO [33].

Figure 15 : Guide d'accès imprimé [13].

Figure 16 : Images CBCT ; A : d'une incisive maxillaire minéralisée [13] ; B : d'incisives mandibulaires minéralisée [5].

Figure 17 : Rendu surfacique du scan intra-oral [5].

Figure 18 : Planification virtuelle de la position du forêt pour la réalisation de la cavité d'accès ; A : sur une incisive maxillaire minéralisée [13] ; B : sur une incisive

mandibulaire minéralisée [5]

Figure 19 : Modèles conçus virtuellement ; A [13] ; B [5]

Figure 20 : Mise en place des guides en bouche ; A [13] ; B [5]

Figure 21 : Cavités d'accès après localisation des canaux radiculaires ; A [13] ; B [5]

Figure 22 : Radiographies post-opératoires après traitements endodontiques ; A [13] ; B [5]

Figure 23 : Radiographies de l'incisive centrale maxillaire gauche (21) sélectionnée pour réaliser le tutoriel ; vue frontale (A), vue sagittale (B).

Figure 24 : Vue occlusale pré-opératoire du modèle *ex-vivo*.

Figure 25 : Cone-beam du modèle *ex-vivo* : coupe axiale (A) et sagittale (B) (CS 9300, Carestream).

Figure 26 : Empreinte à l'alginat du modèle *ex-vivo*.

Figure 27 : Modèle virtuel de l'empreinte numérisée (Dentalwings 7series, Straumann).

Figure 28 : Ouverture de BlueSkyPlan.

Figure 29 : Importer une numérisation du CT Patient.

Figure 30 : Définition de la région d'intérêt.

Figure 31 : Sélection de l'outil « tracer la courbe ».

Figure 32 : Validation de la courbe.

Figure 33 : Sélection du modèle .STL.

Figure 34 : Sélection manuelle de la registration des fichiers .DICOM et .STL.

Figure 35 : Positionnement des points pour réaliser la registration manuellement.

Figure 36 : Vérification de la registration sur une coupe sagittale et transversale.

Figure 37 : Passage à la planification implantaire.

Figure 38 : Sélection du « Panneau de guidage ».

Figure 39 : Sélection du panneau de guide avancé.

Figure 40 : Ajouter un implant.

Figure 41 : Création d'un implant personnalisé aux dimensions du foret.

Figure 42 : Accès aux modifications de l'implant personnalisé.

Figure 43 : Sélection du tube de guidage.

Figure 44 : Création d'un tube de guidage adapté au foret.

Figure 45 : Sélection de l'outil d'affichage de la douille et transparence du foret.

Figure 46 : Verrouillage du foret.

Figure 47 : Sélection de l'outil « Panneaux ».

Figure 48 : Sélection du panneau de fabrication du guide.

Figure 49 : Sélection de l'outil pour tracer la courbe du guide.

Figure 50 : Tracé des limites grossières du guide.

Figure 51 : Placement des limites du guide.

Figure 52 : Création du guide chirurgical.

Figure 53 : Guide chirurgical modélisé.

Figure 54 : Sélection de l'exportation des données.

Figure 55 : Export au format STL. du guide chirurgical en qualité élevée.

Figure 56 : Configuration des paramètres d'impression

Figure 57 : Déplacement du guide sur le plateau.

Figure 58 : Déplacement du guide dans les différents plans de l'espace.

Figure 59 : Vérification de l'orientation du guide en vue frontale.

Figure 60 : Sélection de l'outil « Supports ».

Figure 61 : Conception des supports.

Figure 62 : Sélection de la modification manuelle des supports.

Figure 63 : Modification manuelle du positionnement des points de contact des supports.

Figure 64 : Apparition d'une zone non soutenue en rouge par manque de support.

Figure 65 : Sélection de l'application de la modification des supports.

Figure 66 : Sélection du lancement de l'impression.

Figure 67 : Réglage des paramètres d'impression.

Figure 68 : Guide d'accès endodontique en résine Dental SG : vue occlusale (A) et intrados (B).

Figure 69 : Guide d'accès endodontique en résine Dental SG avec la douille de forage en place : vue occlusale.

Figure 70 : Essayage du foret dans le guide d'accès endodontique.

Figure 71 : Essayage du guide d'accès endodontique sur le modèle *ex-vivo*.

Figure 72 : Pose du champ opératoire sur le modèle *ex-vivo*.

Figure 73 : Cavité d'accès sur la 21 minéralisée.

Figure 74 : Mise en place du guide et du champ opératoire.

Figure 75 : Radiographies rétro-alvéolaires de contrôle.

Figure 76 : Radiographies rétro-alvéolaires de contrôle foret en place (A) et lime en place (B).

Références bibliographiques

1. Anderson J, Wealleans J, Ray J. Endodontic applications of 3D printing. *Int Endod J.* 2018;51(9):1005-18.
2. 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.* 2016;49(8):790-5.
3. Caron G. Oblitérations canalaires, les pulpolithes. *L'Information Dentaire.* 2010;(1):10-5.
4. 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. *J Endod.* 2019;45(3):327-31.
5. 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.* 2018;51(2):247-55.
6. 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.* 2017;43(5):787-90.
7. Dummer PMH, Alodeh MHA, Al-Omari MAO. A method for the construction of simulated root canals in clear resin blocks. *Int Endod J.* 1991;24(2):63-6.
8. Gok T, Capar ID, Akcay I, Keles A. Evaluation of different techniques for filling simulated c-shaped canals of 3-dimensional printed resin teeth. *J Endod.* 2017;43(9):1559-64.
9. Goldberg M. Histologie du complexe dentinaire. *EMC - Médecine buccale.* 2016;11(6):1-24.
10. Goldberg M, Smith AJ. Cells and extracellular matrices of dentin and pulp: a biological basis for repair and tissue engineering. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2004;15(1):13-27.
11. Guastalla O, Viennot S, Allard Y. Collages en odontologie. *EMC-Odontologie.* 2008;28(220):1-7

12. 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*. 2013;46(3):275-88.
13. 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*. 2016;32(3):240-6.
14. Lasfargues J-J, Colon P, Vanherle G, Lambrechts P. *Odontologie conservatrice et restauratrice. Tome 1: une approche médicale globale*. Éditions CdP; 2009.
15. Lee S-J, Jang K-H, Spangberg LSW, Kim E, Jung I-Y, Lee C-Y, et al. Three-dimensional visualization of a mandibular first molar with three distal roots using computer-aided rapid prototyping. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2006;101(5):668-74.
16. McCabe PS, Dummer PMH. Pulp canal obliteration: an endodontic diagnosis and treatment challenge. *Int Endod J*. 2012;45(2):177-97.
17. Merrett SJ, Bryant ST, Dummer PMH. Comparison of the shaping ability of RaCe and FlexMaster rotary nickel-titanium systems in simulated canals. *J Endod*. 2006;32(10):960-2.
18. Nassri MRG, Carlik J, da Silva CRN, Okagawa RE, Lin S. Critical analysis of artificial teeth for endodontic teaching. *J Appl Oral Sci*. 2008;16(1):43-9.
19. 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*. 2017;50(8):813-22.
20. Piette E, Goldberg M. *La dent normale et pathologique*. De Boeck Supérieur; 2001.
21. Plotino G, Pameijer CH, Maria Grande N, Somma F. Ultrasonics in Endodontics: A Review of the Literature. *J Endod*. 2007;33(2):81-95.
22. Rampado ME, Tjäderhane L, Friedman S, Hamstra SJ. The benefit of the operating microscope for access cavity preparation by undergraduate students. *J Endod*. 2004;30(12):863-7.
23. Robberecht L, Chai F, Dehurtevent M, Marchandise P, Bécavin T, Hornez J-C, et al. A novel anatomical ceramic root canal simulator for endodontic training. *Eur J Dent Educ*. 2017;21(4):1-6.

24. Ryou H, Romberg E, Pashley DH, Tay FR, Arola D. Importance of age on the dynamic mechanical behavior of intertubular and peritubular dentin. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2015;42:229-42.
25. Schindler WG, Gullickson DC. Rationale for the management of calcific metamorphosis secondary to traumatic injuries. *J Endod.* 1988;14(8):408-12.
26. Shi S, Bartold PM, Miura M, Seo BM, Robey PG, Gronthos S. The efficacy of mesenchymal stem cells to regenerate and repair dental structures. *Orthodontics & Craniofacial Research.* 2005;8(3):191-9.
27. Shi X, Zhao S, Wang W, Jiang Q, Yang X. Novel navigation technique for the endodontic treatment of a molar with pulp canal calcification and apical pathology. *Aust Endod J.* 2018;44(1):66-70.
28. Simon S, Ctorza-Perez C. Cavité d'accès en endodontie. *EMC - Médecine buccale.* 2010;5(2):1-10.
29. Simon S, Machtou P, Pertot W-J. *Endodontie - Editions CdP. Initiatives Santé.* 2015.
30. Smith AJ. Vitality of the dentin-pulp complex in health and disease: growth factors as key mediators. *J Dent Educ.* 2003;67(6):678-89.
31. Smith AJ, Cassidy N, Perry H, Begue-Kirn C, Ruch JV, Lesot H. Reactionary dentinogenesis. *Int J Dev Biol.* 2003;39(1):273-80.
32. Strbac GD, Schnappauf A, Giannis K, Bertl MH, Moritz A, Ulm C. Guided autotransplantation of teeth: a novel method using virtually planned 3-dimensional templates. *J Endod.* 2016;42(12):1844-50.
33. 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.* 2017;43(3):496-501.
34. Torabinejad M, Walton RE, Fouad A, Lévy G. *Endodontie: principes et pratique.* Elsevier Health Sciences. 2016.
35. Toubes KMS de, Oliveira PAD de, Machado SN, Pelosi V, Nunes E, Silveira FF. Clinical approach to pulp canal obliteration: a case series. *Iran Endod J.* 2017;12(4):527-33.
36. Verweij JP, Jongkees FA, Moin DA, Wismeijer D, Merkesteyn JPR van. Autotransplantation of teeth using computer-aided rapid prototyping of a three-dimensional replica of the donor tooth: a systematic literature review. *Int J Oral Maxillofac Surgery.* 2017;46(11):1466-74.

37. Yahata Y, Masuda Y, Komabayashi T. Comparison of apical centring ability between incisal-shifted access and traditional lingual access for maxillary anterior teeth. *Aust Endod J.* 2017;43(3):123-8.
38. 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.* 2016;49(10):966-72.

Annexes

Annexe 1 : Fiche récapitulative pour la CFAO d'un guide d'accès endodontique statique orthograde avec douille de forage.



Fiche récapitulative pour la CFAO d'un guide d'accès endodontique statique orthograde avec douille de forage

Cette fiche récapitulative a pour objectif de présenter les différentes étapes pas à pas pour la conception et fabrication assistée par ordinateur d'un guide d'accès endodontique orthograde avec douille de forage.

1. Acquisition du modèle numérique par cone-beam

Réaliser un cone-beam en en haute résolution et petit champ pour obtenir les données .DICOM.

2. Empreinte numérique du modèle

Prendre une empreinte de l'arcade, (la couler en plâtre) la numériser et exporter les données au format .STL.

3. Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

Ouvrir le logiciel BlueSkyPlan et cliquer sur « Guides chirurgicaux ».

Cliquer sur « Importer une numérisation CT du patient ».

Charger les données en cliquant sur le dossier contenant le Cone-beam du patient en qualité maximale.

Définir la région d'intérêt en déplaçant les bords des cadres jaunes sur les limites du volume concerné.

Cliquer sur « Outils » puis sélectionner l'outil « Tracer la courbe » pour tracer la courbe passant par le centre des couronnes sur l'ensemble de l'arcade.



Sur une coupe axiale au niveau de la jonction couronne/racine, cliquer pour positionner les points au centre des dents, au niveau pulpaire. Faire un double-clic pour valider le positionnement du dernier point afin de définir la courbe. Il est possible de modifier le volume compris dans cette courbe en jouant sur le positionnement de l'arc jaune.

Cliquer sur « Fichier » puis « Importer le modèle STL ».

Réalisée par le Dr FRANÇOIS Adrien

La registration (superposition) du fichier .DICOM (Cone-beam) et .STL (Modèle numérique) se fait automatiquement. Cependant il est possible de l'affiner ou bien de la réaliser manuellement en cliquant sur « Points » dans le volet droit « Alignement ».	
Cliquer pour positionner les points rouges sur le centre de la face vestibulaire de chaque dent. Il est nécessaire de retrouver le même nombre de points sur les 2 vues. Cliquer sur « OK » pour valider.	
Contrôler la registration en vous déplaçant dans le volume sur les différentes vues. Le volume du Cone-Beam et le modèle numérique de l'empreinte doivent être parfaitement superposés .	
Cliquer sur « Continuer vers Planification d'implant ».	
Cliquer sur « Panneau de guidage ».	
Cliquer sur « Basculer sur panneau Guide avancé ».	
Cliquer sur « Ajouter implant ».	
Sélectionner « Implant personnalisé » et entrer les dimensions de la longueur et du diamètre apical et occlusal du foret que vous utiliserez pour récupérer la perméabilité canalaire.	
Cliquer sur « OK ».	
Cliquer sur l'une des vues sur la dent à traiter pour ajouter la modélisation du foret.	
Cliquer sur « Remplacer » dans le panneau latéral droit sous la section « Implant personnalisé ».	
Cliquer sur « Tube de guidage ».	
Entrer la dimension du diamètre du trou de guidage correspondant au diamètre externe de la douille que vous utiliserez, puis cliquer sur « Afficher le tube de guidage dans l'aperçu ».	
Cliquer sur « OK ».	
Verrouiller le foret après avoir contrôlé son positionnement dans tous les plans de l'espace afin d'obtenir l'axe de forage idéal. Pour cela il existe 2 méthodes, soit cliquer droit sur le foret puis cliquer sur « Verr. Implant », soit cocher la case correspondante dans le panneau latéral.	
Cliquer sur « Panneaux ».	
Cliquer sur « Fabrication Guide ».	
Cliquer sur « Tracer la courbe » dans le panneau latéral.	

Réalisée par le Dr FRANÇOIS Adrien

Sur la vue 3D, appuyer sur la touche « Shift » et cliquer pour tracer les limites du guide sur le modèle. Assurez-vous d'englober suffisamment de dents pour assurer une stabilisation et une sustentation suffisante.
Affiner le positionnement des limites du guide en déplaçant les sphères, à environ 2 mm de la ligne des collets.
Cliquer dans le panneau latéral sur « Créer un guide chirurgical ».
La modélisation du guide chirurgical s'affiche.
Cliquer sur « Fichier » et sélectionner « Exporter données ».
Sélectionner uniquement le guide en qualité très élevée, puis cliquer sur « Exporter ». Sauvegarder le fichier STL. du guide.

4. Fabrication Assistée par Ordinateur

Ouvrir le fichier STL. dans le logiciel PreForm.	
A l'ouverture du logiciel, sélectionner l'imprimante et la résine Surgical Guide (Dental SG V1). Contrôler le niveau de résine dans la cartouche, et déterminer l'épaisseur des couches souhaitées (50 µm). Cliquer sur « Appliquer ».	
Déplacer le modèle du guide pour le positionner sur le quadrillage correspondant au plateau d'impression en cliquant sur les flèches croisées.	
Orienter le guide de façon à ce que seul l'extrados soit positionné côté plateau, ainsi aucun support ne sera présent dans l'intrados.	
Vérifier l'orientation du guide sur les différentes vues du plateau en cliquant sur les flèches en haut à droite de l'écran.	
Cliquer sur « Supports ».	
Sélectionner la densité (1) et la taille des points de contact (0,6 mm), puis cliquer sur « Tout générer automatiquement ».	
Cliquer sur « Tout modifier... ».	
Passer en vue occlusale et cliquer sur les points jugés trop proches du trou de forage.	
Les zones rouges signalent un emplacement où la résine est insuffisamment soutenue, cliquer dans cette zone pour y positionner un nouveau support.	
Cliquer sur « Appliquer ». L'ordinateur contrôle alors l'imprimabilité du guide.	
Cliquer sur « Lancer une impression ».	
Sélectionner l'imprimante, vérifier les paramètres et cliquer sur « Charger une impression ».	

Réalisée par le Dr FRANÇOIS Adrien

Après impression, sortir le guide l'imprimante et le nettoyer dans un bain d'alcool isopropylique pendant 20 minutes sous agitation, selon le protocole prescrit par le fabricant.
Passer le guide dans un four à 60 °C durant 60 minutes pour terminer la polymérisation.
Sectionner les piliers de résine pour ne garder que le guide.
Ajouter la douille métallique dans le tube de guidage
Passer le foret dans le guide pour contrôler son insertion et son engainement. Vérifier qu'il n'y ait aucun jeu.
Positionner le guide sur le patient et contrôler son insertion et sa stabilité.

5. Protocole clinique

Placer le champ opératoire sur votre patient en réalisant une digue étendue qui englobe les dents adjacentes aux limites du guide.
Réaliser la cavité d'accès à l'aide d'une fraise boule diamantée montée sur turbine.
Placer le guide et commencer le forage en exerçant une pression en direction apicale par vagues de 2 mm.
Associer à ceci une phase d'irrigation entre chaque vague pour éliminer les débris dentinaires. Un contrôle radiographique rétro-alvéolaire doit être réalisé régulièrement afin de contrôler l'absence de déviation d'axe du foret.
Une fois la longueur de forage prédéterminée atteinte, réaliser un cliché radiographique rétro-alvéolaire de contrôle. Puis contrôler la perméabilité canalaire à l'aide d'une lime K10 pré courbée.

Réalisée par le Dr FRANÇOIS Adrien



Faculté de Chirurgie Dentaire

Place de Verdun - 59000 - Lille

T. : +33 (0)3 20 16 79 00 - F. : +33 (0)3 20 16 79 99
chident.univ-lille.fr

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année 2021 – N°:

Tutoriel pour la CFAO d'un guide d'accès endodontique statique orthograde pour dent minéralisée / **FRANCOIS Adrien**.- p. 73 : ill. 76 ; réf. 38.

Domaines : Endodontie

Mots clés Rameau:

Mots clés FMeSH:

Mots clés libres : Endodontie guidée ; Dent minéralisée ; Guide d'accès endodontique ; Tutoriel

Résumé de la thèse :

La prise en charge endodontique des dents minéralisées reste complexe malgré l'arsenal thérapeutique du chirurgien-dentiste.

L'objectif de cette thèse était de concevoir un tutoriel pour la Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur (CFAO) d'un guide d'accès endodontique statique orthograde pour dent minéralisée. Ceci permettant la continuité de la formation des chirurgiens-dentistes.

Dans une première partie sont présentées les spécificités de la prise en charge de la dent minéralisée en endodontie.

La seconde partie de ce travail est consacrée à la réalisation d'un tutoriel complet, présenté pas à pas, à travers un protocole standardisé pour développer un guide endodontique statique pour dent minéralisée. Un modèle *ex-vivo* a été créé avec des dents naturelles extraites. Un cone-beam en haute résolution ainsi qu'une empreinte numérique ont été réalisés. La CAO du guide a été réalisée avec le logiciel BlueSkyPlan et la FAO avec le logiciel PreForm. Le guide fabriqué par stéréolithographie a pu être utilisé sur le modèle *ex-vivo* pour retrouver la perméabilité canalair. Une fiche récapitulative des étapes est présentée en annexe afin de faciliter sa diffusion.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Étienne DEVEAUX

Asseseurs : Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN

Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Monsieur le Docteur Henri PERSON

Adresse de l'auteur :