



**HAL**  
open science

# Appréciation au microscope optique de la répartition du ciment de scellement dans le canal radiculaire après obturation selon deux techniques

Lauren Nacasch

► **To cite this version:**

Lauren Nacasch. Appréciation au microscope optique de la répartition du ciment de scellement dans le canal radiculaire après obturation selon deux techniques. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-03334133

**HAL Id: dumas-03334133**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03334133>**

Submitted on 3 Sep 2021

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

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



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

**UNIVERSITE PARIS DIDEROT - PARIS 7**

**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

5, Rue Garancière 75006 PARIS

2019

Thèse N°:

N° attribué par la bibliothèque :

**THESE pour le DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR**

**en CHIRURGIE DENTAIRE**

présentée et soutenue publiquement le

par **NACASCH Lauren**

**APPRECIATION AU MICROSCOPE OPTIQUE DE LA REPARTITION  
DU CIMENT DE SCHEMMENT DANS LE CANAL RADICULAIRE APRES  
OBTURATION SELON DEUX TECHNIQUES**

Directeur de thèse : Professeur Stéphane SIMON

Codirecteur de thèse : Docteur Valentin MARCHI

**JURY**

M. le Professeur Stéphane SIMON

Président

Mme la Docteure Julia BOSCO

Assesseur

Mme la Docteure Isabelle FONTANILLE

Assesseur

M. le Docteur Benjamin FOURNIER

Assesseur

M. le Docteur Valentin MARCHI

Assesseur

Mme la Docteure Juliette ROCHEFORT

Assesseur

# UNIVERSITE PARIS DIDEROT-PARIS 7

Présidente de l'Université :

Mme la Professeure Christine CLERICI

Doyenne de l'U.F.R. d'Odontologie :

Mme la Professeure Ariane BERDAL

Directrice Générale des Services :

Madame Pascale SAINT-CYR

---

## JURY

M. le Professeur Stéphane SIMON

Président

Mme la Docteure Julia BOSCO

Assesseur

Mme la Docteure Isabelle FONTANILLE

Assesseur

M. le Docteur Benjamin FOURNIER

Assesseur

M. le Docteur Valentin MARCHI

Assesseur

Mme la Docteur Juliette ROCHEFORT

Assesseur

**M. le Professeur Stéphane SIMON**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Docteur en Sciences Odontologiques  
Diplôme d'Etat en Odontologie  
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

*Pour l'honneur que vous me faites d'avoir dirigé cette thèse, et également d'être à la présidence de ce jury. Je tiens à vous remercier de m'avoir suivie tout au long de ce travail, de m'avoir accordé de votre temps et d'avoir partagé votre savoir immense. C'est pour moi une grande fierté d'avoir travaillé avec vous et j'aimerais vous adresser toute ma reconnaissance et mon respect.*

**Mme la Docteure Julia BOSCO**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Diplôme de Doctorat  
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier

*Pour l'honneur que vous me faites de siéger au sein de ce jury ainsi que pour la qualité de vos enseignements, je vous remercie d'avoir pris de votre temps et de m'avoir épaulée pour la réalisation de l'expérimentation, veuillez trouver ici le témoignage de mon profond respect et de ma respectueuse considération.*

**Mme la Docteure Isabelle FONTANILLE**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Assistante Hospitalo-Universitaire

*Pour l'honneur que vous me faites de siéger au sein de ce jury ainsi que pour la qualité de vos enseignements, veuillez trouver ici le témoignage de mon profond respect et de ma respectueuse considération.*

**M. le Docteur Benjamin FOURNIER**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Diplôme de Doctorat  
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier

*Pour l'honneur que vous me faites en participant au jury de cette thèse, veuillez recevoir ici toute ma gratitude, mon estime et ma considération.*

**M. le Docteur Valentin MARCHI**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Assistant Hospitalo-Universitaire

*Pour l'honneur que vous me faites de siéger au sein de ce jury et surtout de m'avoir encadrée pour cette thèse. Je vous suis infiniment reconnaissante pour le temps que vous avez accordé à ce travail, pour votre gentillesse et pour le partage de vos vastes connaissances. J'ai énormément appris à vos côtés et j'aimerais vous adresser toute ma gratitude et mes sincères remerciements.*

**Mme la Docteure Juliette ROCHEFORT**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Maître de Conférences des Universités Associée

*Pour l'honneur que vous me faites en acceptant de siéger à cette thèse, veuillez trouver ici l'expression de mes remerciements les plus sincères.*

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>L'OBTURATION ENDODONTIQUE .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.</b>	<b>Objectifs et défis à relever .....</b>	<b>7</b>
2.1.1.	Définition .....	7
2.1.2.	Objectifs .....	8
2.1.3.	Critères radiographiques de qualité .....	9
2.1.4.	Echec thérapeutique .....	10
<b>2.2.</b>	<b>Matériaux utilisés .....</b>	<b>10</b>
2.2.1.	Matériau d'obturation : précisions sur la gutta percha .....	10
2.2.2.	Ciment de scellement canalaire .....	13
<b>2.3.</b>	<b>Les ciments biocéramiques : des matériaux d'obturation à part entière .....</b>	<b>16</b>
2.3.1.	Présentation .....	17
2.3.2.	Propriétés .....	19
2.3.3.	Précisions sur le BioRoot RCS .....	21
<b>2.4.</b>	<b>Techniques d'obturation .....</b>	<b>29</b>
2.4.1.	Technique de compaction verticale à chaud .....	30
2.4.2.	Technique d'obturation par condensation verticale à chaud en vague(s) unique ou successives : System B .....	31
2.4.3.	Technique monocône .....	33
2.4.4.	Technique de compaction thermo-mécanique de JT Mac Spadden .....	33
2.4.5.	Technique de condensation latérale à froid .....	34
<b>3</b>	<b>MATERIELS ET METHODES .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.</b>	<b>Sélection de l'échantillon .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.</b>	<b>Préparation des échantillons : mise en forme canalaire .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3.</b>	<b>Répartition des échantillons en 2 groupes : obturation .....</b>	<b>38</b>
3.3.1.	Groupe VC .....	38
3.3.2.	Groupe MC .....	39
<b>3.4.</b>	<b>Préparation des échantillons pour l'observation au microscope optique .....</b>	<b>40</b>
3.4.1.	Conservation .....	40
3.4.2.	Inclusion .....	40
3.4.3.	Coupes et polissage .....	42
3.4.4.	Observation des coupes au microscope optique .....	44
3.4.5.	Analyse des photographies obtenues .....	45

<b>4</b>	<b>RESULTATS .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1.</b>	<b>Généralités .....</b>	<b>53</b>
4.1.1.	Coupes à 9mm de l'apex anatomique : tiers coronaire .....	54
4.1.2.	Coupes à 5mm de l'apex anatomique : tiers moyen .....	56
4.1.3.	Coupes à 1mm de l'apex anatomique : tiers apical .....	58
4.1.4.	Présence de bulles.....	61
4.1.5.	Déformation du cône de gutta-percha.....	62
4.1.6.	Présence de manque d'obturation .....	64
4.1.7.	Ratio Aire de gutta-percha / Aire de l'obturation (gutta-percha + ciment).....	64
<b>5</b>	<b>DISCUSSION.....</b>	<b>65</b>
<b>5.1.</b>	<b>Ratio moyen gutta-percha/ciment.....</b>	<b>65</b>
<b>5.2.</b>	<b>Déformation du cône .....</b>	<b>65</b>
<b>5.3.</b>	<b>Manques et Bulles .....</b>	<b>65</b>
<b>5.4.</b>	<b>Coupes à 9mm du de l'apex anatomique .....</b>	<b>66</b>
<b>5.5.</b>	<b>Coupes à 5mm de l'apex anatomique .....</b>	<b>66</b>
<b>5.6.</b>	<b>Coupes à 1mm de l'apex anatomique : qualité du scellement apical.....</b>	<b>67</b>
<b>5.7.</b>	<b>Les points forts et points faibles de l'étude .....</b>	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>ANNEXES.....</b>	<b>76</b>

# 1 INTRODUCTION

L'un des objectifs du traitement endodontique est de sceller hermétiquement l'endodonte afin de prévenir l'apparition d'une lésion inflammatoire des tissus périradiculaires, ou d'obtenir la cicatrisation d'une telle lésion causée par la contamination microbienne du système endodontique de la dent (D. Martin et al. 2012).

Le défi majeur est de considérer l'endodonte dans sa globalité, c'est-à-dire en 3 dimensions : en effet, le système endodontique est majoritairement contenu dans la chambre pulpaire, dans le ou les canaux principaux, mais aussi dans des isthmes, canaux latéraux et canaux accessoires non instrumentables mécaniquement car difficiles d'accès.

Jusqu'à présent, pour l'obturation des canaux radiculaires on utilise le plus communément un maître cône de gutta-percha, couplé à une fine couche de ciment de scellement. Les instruments de mise en forme et les cônes de gutta-percha standardisés (correspondant à ces premiers) sont de forme cylindro-conique.

Or, il arrive assez fréquemment que les canaux principaux soient de forme ovale, ou en forme de ruban (figure 2, figure 3, figure 4 et figure 5) : c'est le cas de 25% des dents selon Wu (figure 1) (Wu et al. 2000b).

Table 1: Prevalence of oval shaped canals				
Author(s)/ Year	Tooth type	Population	Prevalence	Method of study
Mauger <i>et al.</i> (1998) <sup>14</sup>	100 mandibular incisors	Not applicable	42%	Apex resection at 20-degree facial bevel
Gani and Visvisian (1999) <sup>15</sup>	40 first maxillary molars	Argentina	32.5% in mesio Buccal and palatal canals 10% in mesio palatal canal 20% in disto Buccal canal	Cross sectioning
Wu <i>et al.</i> (2000) <sup>12</sup>	180 extracted human teeth, 20 for each tooth group	Not applicable	25%	Horizontal sectioning
Marroquin <i>et al.</i> (2004) <sup>13</sup>	523 maxillary and 574 mandibular molars	Egypt	Varied	Computer-aided stereomicroscope

Figure 1. Tableau récapitulatif de la prévalence de canaux ovales selon plusieurs études (Mohammadi et al. 2015).

Marroquin et al. (2004) ont étudié l'anatomie apicale de 523 molaires maxillaires et 574 molaires mandibulaires d'une population égyptienne, à l'aide d'une stéréomicroscopie assistée par ordinateur. Les résultats ont montré que la forme physiologique du foramen la plus courante était ovale (70%) (Mohammadi et al. 2015).

Cette anatomie complexe peut être considérée comme l'un des principaux défis à relever pour parvenir à un débridement approprié et à une obturation tridimensionnelle.

Le maître cône de gutta-percha, conique et de section ronde, inséré dans un canal ovale mis en forme, n'est pas en contact intime avec les parois canalaires ; il réside un espace comblé par le ciment de scellement si les techniques d'obturation ne permettent pas de le combler par condensation ou compaction de la gutta-percha.

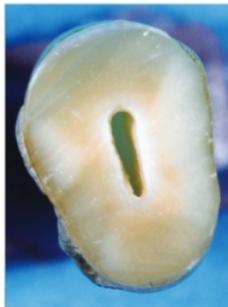


Figure 2. Coupe d'une canine mandibulaire présentant un canal de forme ovale (Mohammadi et al. 2015).



Figure 3. Coupe d'une dent présentant un canal en forme de ruban (<http://blog.denticle.com/2013/10/ultradent-tilos-why-sometimes-ribbon-is.html>).



Figure 4. Photographie d'une première molaire maxillaire, prise par le Dr David Clark, parue dans l'article du Dr Eric Herbranson « Chapter 2 : The Anatomy of the Root Canal System as a Challenge to Effective Disinfection ». Elle présente 2 canaux en forme de ruban.

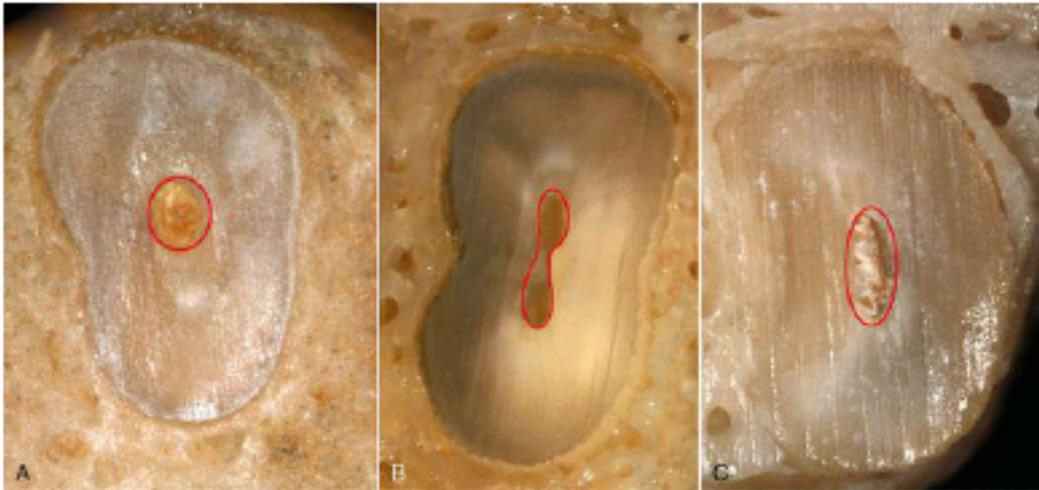


Figure 5. Morphologie de canaux radiculaires. De gauche à droite : rond, en forme de ruban, ovale.  
 ([http://intranet.tdmu.edu.ua/data/kafedra/internal/stomat\\_ter/classes\\_stud/en/stomat/ptn/propaedeutics%20of%20the%20therapeutic%20dentistry/2%20year/11.%20Technique%20of](http://intranet.tdmu.edu.ua/data/kafedra/internal/stomat_ter/classes_stud/en/stomat/ptn/propaedeutics%20of%20the%20therapeutic%20dentistry/2%20year/11.%20Technique%20of)).

Dans l'article publié en 2000 par Wu, « Sealer distribution in root canals obturated by three techniques », le but de l'étude était d'observer la distribution du ciment au sein de canaux obturés par différentes techniques. Cette étude permet d'obtenir beaucoup de réponses quant à la qualité des techniques d'obturation. Cependant, la forme du canal n'est pas prise en compte, bien qu'elle soit un paramètre important.

**Comment obturer un canal ovale dans sa totalité et de façon pérenne ? Quelle technique d'obturation et quels matériaux d'obturation sont les mieux adaptés ?**

Les techniques de mise en forme et d'obturation ainsi que les divers matériaux d'obturation sont élaborés afin d'obturer le maximum d'espace au sein de l'endodonte pour obtenir l'obturation la plus étanche.

La technique d'obturation par condensation verticale à chaud permet de plaquer la gutta-percha contre les parois canalaires, minimisant ainsi la quantité de ciment.

Cette technique, reconnue comme une technique de choix pour obtenir une obturation tridimensionnelle, présente toutefois quelques limites : dans le cas où le canal est de forme ovale, il est possible que la condensation de la gutta-percha à 5 mm de l'apex anatomique ne permette pas d'obtenir une obturation étanche au niveau du tiers apical.

Le ciment le plus communément utilisé, à base d'oxyde de zinc et d'eugénol (ZOE), présente l'inconvénient majeur d'être résorbable. Sur le long terme, les défauts d'obturation alors présents au niveau apical peuvent représenter une porte d'entrée pour les bactéries et le système canalaire n'est plus isolé des tissus péri-apicaux.

Récemment, l'apparition de ciments biocéramiques bouleverse la pratique de l'endodontie. En effet, ces matériaux qui vont assurer le joint entre la paroi canalaire et le maître cône de gutta-percha, vont créer de véritables liaisons chimiques et assurer une étanchéité d'une autre dimension, au sens propre du terme.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la répartition ciment/gutta-percha dans des canaux ovales obturés avec deux techniques d'obturation : une technique de gutta chaude associée à un ciment à base d'oxyde de zinc/eugénol et une technique monocône associée à un ciment de la famille des biocéramiques.

## 2 L'OBTURATION ENDODONTIQUE

### 2.1. Objectifs et défis à relever

#### 2.1.1. Définition

*“Obturation is the method used to fill and seal a cleaned and shaped root canal using a root canal sealer and core filling material.”*

D'après la définition de l'American Association Of Endodontics (Glossary Of Endodontic Terms, Ninth Edition, 2016), l'obturation est la méthode utilisée pour remplir et sceller un canal radiculaire désinfecté et mis en forme, en utilisant un ciment de scellement canalaire et un maître cône.

En 1967, Schilder énonce dans l'article *Filling Root Canals in Three Dimensions* les objectifs de l'endodontie moderne (Schilder, 1967) : l'objectif final du traitement endodontique est la totale obturation de la lumière canalaire, en considérant le système endodontique dans sa totalité c'est-à-dire non seulement dans le sens vertical, en veillant à réaliser une obturation des canaux principaux de l'entrée coronaire jusqu'à l'apex, mais aussi et surtout dans le sens latéral en considérant les canaux accessoires et isthmes non instrumentés.



Figure 6. Radiographie post-opératoire d'une obturation tridimensionnelle du système canalaire à la gutta-percha, matérialisée par l'obturation des canaux latéraux (S. Simon 2012).

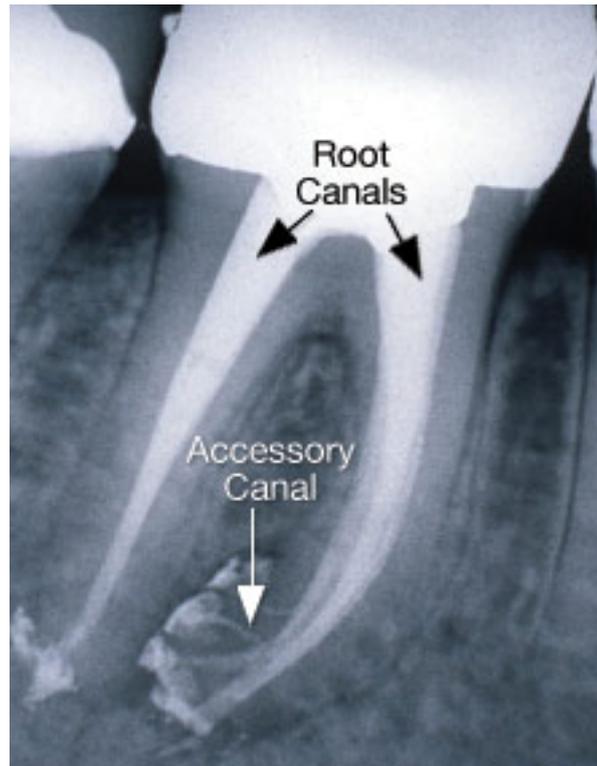


Figure 7. Radiographie rétro-alvéolaire, montrant une obturation tridimensionnelle matérialisée par l'obturation des canaux accessoires (Radiographie fournie par le Dr. Michael Scianamblo).

### 2.1.2. Objectifs

La « Triade » du succès endodontique regroupe les 3 objectifs d'un traitement canalaire :

- la *désinfection* du système endodontique, pérennisée par une
- *obturation tridimensionnelle et étanche*,
- elle-même étroitement dépendante d'une *mise en forme* de qualité.

En d'autres termes, l'obturation canalaire tridimensionnelle et étanche a pour but d'empêcher la recolonisation du système canalaire par les bactéries. En effet, l'objectif final est de priver d'apport nutritif les bactéries qui pourraient persister après le traitement, de supprimer tout espace libre susceptible d'abriter des bactéries, et de supprimer toutes les éventuelles portes d'entrée pour celles-ci, de la partie coronaire jusqu'à l'apex.

### 2.1.3. Critères radiographiques de qualité

Les critères radiographiques d'une obturation endodontique de qualité sont les suivants :

- l'obturation doit être la plus dense possible, témoin d'une présence minimale d'espaces libres dans l'endodonte. La radio-opacité des matériaux d'obturation utilisés est donc indispensable pour évaluer la densité du traitement (ANDEM Recommandations et références dentaires, 1996) ;
- dans le sens vertical, tous les canaux principaux doivent être obturés, et ce de l'entrée canalaire jusqu'à l'apex anatomique. De nombreuses controverses existent quant à la meilleure limite d'obturation ; toutefois un traitement est considéré de qualité si la limite de l'obturation se situe à moins de 2 mm de l'apex radiographique (European Society of Endontology, 2006).



*Figure 8. Radiographies rétro-alvéolaires de prémolaires mandibulaires (courtoisie du Dr V. Marchi). De gauche à droite : sur la radiographie pré-opératoire, on peut observer un traitement endodontique de mauvaise qualité : manque de densité, canal non obturé jusqu'à l'apex voire non instrumenté, avec une LIPOE à l'apex de chaque racine. Sur la radiographie post-opératoire, on peut observer un traitement endodontique de qualité, présentant une obturation dense, et sur toute la longueur de travail. Sur la radiographie post-opératoire à 1 an, on peut objectiver une guérison par la disparation des lésions radio-claires aux apex.*

- dans les 3 dimensions de l'espace, le canal doit être obturé : il est d'usage de considérer une obturation objectivement tridimensionnelle lorsqu'un canal accessoire ou un isthme apparaît radio-opaque (et donc obturé) sur la radiographie de contrôle de fin de traitement ;
- à la radiographie rétro-alvéolaire, s'il y avait initialement une lésion apicale, on doit noter une diminution de la taille ou de la radio-clarté de cette lésion au minimum 1 an après la fin du traitement (Orstavik 1996) , signe de guérison et de cicatrisation osseuse.



*Figure 9. Radiographies rétro-alvéolaires du retraitement endodontique d'une première molaire mandibulaire (Ng et al. 2011). De gauche à droite : radiographie pré-opératoire présentant une LIPOE à l'apex de la racine distale. Radiographie rétro-alvéolaire post-opératoire montrant une obturation plus dense (car plus radio-opaque). Radiographie rétro-alvéolaire à 1 an post-opératoire, montrant un signe de guérison matérialisé par la disparition de la radio-clarté à l'apex de la racine distale.*

#### **2.1.4. Echec thérapeutique**

Un traitement endodontique inadéquat peut faire l'objet d'un échec thérapeutique, c'est-à-dire présentant une infection secondaire au traitement initial, ou une non guérison de l'infection primaire, c'est le cas de près de 20% des traitements initiaux selon une étude (Friedman et al. 2003).

Dans ce cas, il doit être possible d'intervenir une seconde fois, de faire « un retraitement endodontique » : il faut donc que les matériaux d'obturation puissent être déposés (Grossman et al. 1988).

Plusieurs techniques et différents matériaux entrent en jeu pour répondre aux objectifs de l'obturation.

### **2.2. Matériaux utilisés**

#### **2.2.1. Matériau d'obturation : précisions sur la gutta percha**

Les matériaux d'obturation canalaire doivent permettre de répondre aux objectifs de l'obturation, à ses critères de qualité ainsi que permettre d'évaluer ces critères.

La biocompatibilité des matériaux est importante car les matériaux d'obturation endodontique sont directement en contact avec les tissus biologiques vivants.

La situation optimale serait un matériau bioactif, capable d'entraîner la formation d'une couche intermédiaire entre le matériau et le canal, qui non seulement isolerait le matériau

des tissus biologiques environnants, mais aussi participerait à améliorer la qualité du scellement apical.

- [Cahier des charges selon Grossman](#)

Grossman a établi un cahier des charges que doit remplir un matériau d'obturation canalair (Grossman et al. 1988).

Selon lui, le matériau d'obturation doit présenter les caractéristiques suivantes :

- être facile à introduire dans le canal ;
- sceller le canal latéralement et apicalement ;
- être bactéricide, ou au moins bactériostatique ;
- être radio-opaque ;
- être stérilisable ;
- être facile à enlever et à désobturer, permettant un éventuel retraitement.

Schmalz ajoute en 2003 les propriétés suivantes :

- être non soluble dans les fluides apicaux ;
- présenter une bonne adhésion et une bonne adaptation à la dentine ainsi qu'entre les différents matériaux ;
- présenter une absence de porosité ;
- stimuler le processus de cicatrisation ;
- avoir un temps de travail adéquat pour la mise en place et le contrôle radiographique.

Le matériau d'obturation ne doit pas :

- subir de rétraction pendant ou après la prise ;
- être altéré par l'humidité ;
- entraîner de coloration de la dent ;
- irriter les tissus péri-apicaux ;
- altérer la structure dentaire.

- Précisions sur la Gutta-percha

Obtenu à partir du latex des feuilles d'un arbre de la famille des *Sapotaceae*, le *Pallaquium oblongifolia*, la gutta-percha sous sa forme  $\beta$  est le matériau d'obturation canalaire le plus utilisé actuellement.

Depuis 1867, Bowman a préconisé son utilisation sous forme de cônes, dont la composition est la suivante : 20 à 25% de gutta-percha sous forme  $\beta$ , 60 à 65% d'oxyde de zinc (aux propriétés bactéricides et permettant la désobturation de la gutta-percha via des solvants de l'oxyde de zinc), environ 11% de sulfate de baryum (qui confère la radio-opacité) et 4% de colophane, cire et colorants.

Il existe plusieurs types de cônes selon la composition, le diamètre, la conicité, la taille de la pointe ; actuellement leur forme tend à se rapprocher de celle des instruments de mise en forme canalaire. Bien qu'il faille tout de même ajuster le cône standardisé avant l'obturation, le fait que le cône tende à épouser la forme des parois canales donnée par la mise en forme permet de minimiser les espaces vides, sinon comblés par le ciment de scellement.



Figure 10. Cônes gutta-percha standardisés de la gamme WaveOne Gold (Small, Primary, Medium et Large) commercialisés par Dentsply.



Figure 11. Boîte de cône de gutta-percha auxiliaires non standardisés, commercialisés par Dentsply sur le site internet du fournisseur GACD.

## **2.2.2. Ciment de scellement canalaire**

« Les ciments de scellement sont généralement considérés comme le joint d'étanchéité dans l'obturation canalaire, mais paradoxalement, comme le point faible du joint, dont le volume doit être réduit au minimum par le compactage du matériau d'obturation » (Whitworth 2005).

### **2.2.2.1. Rôles**

Comme sa dénomination l'indique, le ciment de scellement permet de *sceller* l'obturation canalaire. Lors d'une obturation utilisant un cône de gutta-percha, le ciment de scellement va notamment avoir pour rôle d'assurer le joint entre la gutta-percha et les parois canales, car la gutta-percha n'est pas adhérente à la dentine canalaire.

Les qualités que doit avoir un bon ciment canalaire sont selon Grossman (Grossman et al. 1988):

- être collant : présenter une bonne adhésion avec la dentine canalaire ;
- permettre un scellement hermétique ;
- être radio-opaque ;
- permettre un mélange rapide et homogène : les particules de poudre doivent être fines ;
- être non résorbable ;
- être biocompatible ;
- être bactériostatique ;
- présenter un temps de prise élevé ;
- être insoluble dans les fluides tissulaires ;
- être « tissue tolerant » : non irritant pour le péri-apex ;
- être soluble dans les solvants communs : pour permettre la désobturation.

Lors de l'insertion du maître cône de gutta-percha enrobé d'un film de ciment dans le canal, le ciment de scellement va combler les vides non comblés par le maître cône au sein de l'endodonte, et va donc participer à l'obturation du réseau canalaire.

En résumé, le ciment de scellement a plusieurs rôles : un rôle de joint, un rôle de lubrifiant, et malgré lui un rôle d'obturant.

### 2.2.2.2. Précisions sur le ciment ZOE

Les ciments de scellement à base d'oxyde de zinc et d'eugénol sont les plus communément utilisés actuellement.

Le ciment PCS Pulp Canal Sealer® développé par SybronEndo (Orange, CA) à base d'oxyde de zinc et d'eugénol, a la composition suivante :

- la poudre est composée à 34% d'oxyde de zinc, 25% d'argent, 30% de résines (pour la stabilité dimensionnelle et l'adhésion), 11% de thymol ;
- le liquide est composé d'eugénol et de baume du Canada.



Figure 12. Pulp Canal Sealer® (photographie présentée sur le site de fournitures gacd.fr)

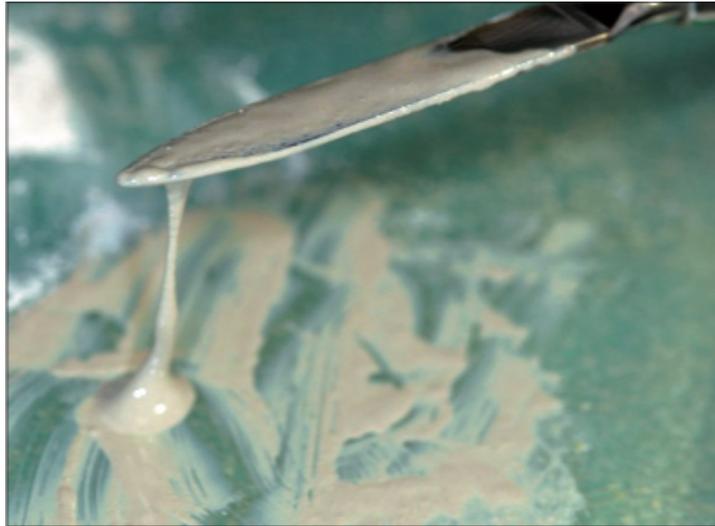


Figure 13. Test d'étirement du ciment de scellement : le Pulp Canal Sealer® doit s'étirer sur 10 mm au minimum entre le bloc à spatuler et la spatule avant de se rompre (S. Simon 2012).

Des antiseptiques et/ou anti-inflammatoires sont parfois ajoutés à la composition du ciment de scellement.

Ce ciment présente une rétraction à la prise, et il est soluble dans le temps, en libérant de l'eugénole et des ions zinc Zn. Ce phénomène, bénéfique sur le plan antibactérien, est responsable d'une perte d'étanchéité à long terme qui est proportionnelle à l'épaisseur de ciment (Kontakiotis et al., 1997).

L'eugénole libérée est toxique à concentration élevée et a des effets néfastes sur les cultures de fibroblastes et d'ostéoblastes (Ho et al 2006 ; Lee et al 2007), mais il semble relativement bien supporté par les tissus (Kolokouris et al 2008 ; Holland, 1994). A de faibles concentrations, il est anti-inflammatoire et sédatif.

Ce ciment de scellement a un pouvoir bactéricide certain et limiterait dans une certaine mesure la pénétration des toxines bactériennes (Williamson et al., 2005).

La consistance du mélange poudre/liquide a son importance en ce qui concerne la solubilité et donc l'étanchéité et la toxicité (Ilic DV, 2013).

Le ciment à base d'oxyde de zinc-eugénole possède plusieurs solvants permettant sa désobturation en cas de retraitement endodontique : essences d'agrumes, tétrachloréthylène, acétate d'éthyle, ...

L'obturation canalaire utilisant un ciment de scellement à base d'oxyde de zinc-eugérol requiert une siccité du canal : après la désinfection du canal et avant son obturation, le canal est méticuleusement séché avec des pointes de papier stériles.

La gutta-percha n'est pas résorbable. En revanche, le ciment de scellement lui, est résorbable. Les espaces initialement comblés par le ciment de scellement peuvent donc laisser place à des espaces vides à long terme.

En effet, dès 1967 Schilder affirme que « *seule une quantité minimale de ciment doit être utilisée car la condensation verticale de la masse de gutta-percha étalera le ciment uniformément sous une énorme pression hydrostatique. En effet, les canaux latéraux trop fins pour recevoir la gutta-percha chaude seront remplis par le ciment. Bien que cela soit moins souhaitable que le remplissage par la gutta-percha, il est préférable de les laisser non obturés* ».

Ainsi, Schilder affirme clairement qu'il est préférable de laisser un canal accessoire non obturé, plutôt que de l'obturer par un excès de ciment de scellement inséré dans le canal.

### **2.3. Les ciments biocéramiques : des matériaux d'obturation à part entière**

Avec l'apparition des ciments biocéramiques et de leurs nouvelles propriétés, les rôles changent, et les techniques d'obturation changent avec :

- en technique conventionnelle : le maître cône de gutta-percha a un rôle de remplissage, et le ciment de scellement a pour but de faire adhérer la gutta-percha aux parois canalaires ;
- avec un ciment de scellement biocéramique, le maître cône de gutta-percha ne joue plus qu'un rôle de tuteur qui permettra de répandre le ciment au sein de l'endodonte. Le ciment a ainsi le rôle principal de matériau d'obturation. La technique monocône permet dans ces conditions d'obtenir une obturation tridimensionnelle permanente du canal radiculaire, de façon simple et rapide.

### 2.3.1. Présentation

Les céramiques sont des solides non métalliques, des matériaux inorganiques et des matériaux pouvant inclure des atomes métalliques ou métalloïdes.

Les « bio » -céramiques sont des matériaux bioactifs : ils sont très bien tolérés par les tissus organiques, et ont une activité biologique sur ceux-ci par le relargage d'hydroxyde de calcium sur le long terme. Cela leur confère des propriétés antibactériennes intéressantes et permet également des réactions avec les groupements phosphate de la dentine. Des liaisons covalentes durables sont formées entre le matériau et la dentine.

Les ciments à base de silicate tricalcique ont été introduits (Holland et al. 1999) après la popularisation du *Mineral Trioxide Aggregate* MTA (Torabinejad et Chivian 1999) de par sa capacité à relarguer du calcium (Camilleri et al. 2005, Camilleri 2008) et sa bioactivité (Sarkar et al 2005, Tay et al 2007).



Figure 14. ProRoot MTA® (site internet Dentsply): sachet de poudre, et ampoule de liquide à mélanger sur un bloc de mélange, en incorporant progressivement le liquide à la poudre, pendant 1 minute environ.

Le premier ciment à base de Mineral Trioxide Aggregate MTA commercialisé est le MTA Fillapex® (Angelus, Londrina, Brazil), qui est principalement composé de résine salicylate plutôt que de MTA (Amoroso-Silva et al 2014). La réaction d'hydratation du MTA Fillapex® ne libère pas d'hydroxyde de calcium (Viapiana et al. 2014a, Xuereb et al. 2015) et libère peu d'ion calcium en solution (Viapiana et al 2014a).

Une toxicité sévère a été rapportée, qui semble être due à la présence de composants résineux dans sa composition (Silva et al. 2013).



Figure 15. Présentation du MTA Fillapex® développé par ANGELUS (site de fourniture Pro.Pred.fr). La seringue double garantit la proportion de mélange 1 :1 (pâte base et pâte catalysatrice) : il faut presser l'embout pour délivrer les pâtes sur une plaque de verre et spatuler durant 30 secondes, ou délivrer le mélange directement dans le conduit.

Plus récemment, parmi les ciments biocéramiques est apparu le BioRoot RCS® (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, France) à base de silicate tricalcique, qui contrairement au MTA Fillapex®, libère de l'hydroxyde de calcium lors de son hydratation (Camilleri 2015).

Le BioRoot RCS® libère des niveaux élevés de calcium, exposant le double d'ion calcium à la lixiviation comparé à l'EndoSequence BC Sealer® (Brasseler USA – Savannah, Géorgie), un autre ciment biocéramique (Xuereb et al. 2015).



Figure 16. Le BioRoot RCS® développé par Septodont.



Figure 17. Le ciment EndoSequence BC Sealer® développé par Henry Schein. Pâte prémélangée injectable par seringue.



Figure 18. Le ciment Total Fill BC Sealer®, développé par FKG, ici en pâte injectable.

### 2.3.2. Propriétés

Comme il a été rappelé précédemment, les ciments de scellement communément utilisés se dégradent avec le temps et mettent ainsi en difficulté l'étanchéité de l'obturation, garante de la qualité du traitement endodontique. En effet, la résorption du ciment de scellement va laisser place à des vides permettant aux bactéries de proliférer.

L'apparition de ciments de scellement biocéramiques révolutionne le traitement endodontique : non seulement l'interface matériau-dentine ne se détériore pas avec le temps, mais elle pourrait même s'améliorer grâce aux interactions physico-chimiques présentes à cette interface. Le joint de ciment ne serait donc plus la faiblesse de l'obturation mais plutôt son point fort.

Les ciments biocéramiques sont des matériaux hygroscopiques : leur réaction de prise étant une hydratation, ils vont être sensibles au degré d'humidité présent dans l'endodonte. Les

fabricants recommandent actuellement de laisser « une légère humidité » au sein du canal avant d'obturer.

Les avantages des ciments biocéramiques comparés aux ciments oxyde de zinc-eugénol ou aux ciments résineux sont (Camps et al. 2015):

- pas de contraction de prise ;
- moins de porosités ;
- non résorbables avec le temps ;
- possibilité de mise en place dans un milieu humide car la réaction de prise est une hydratation ;
- alcalinité : le pH basique confère une action antibactérienne tout au long de la réaction de prise ;
- haute biocompatibilité et non cyto-toxicité pour les tissus péri-radicaux ;

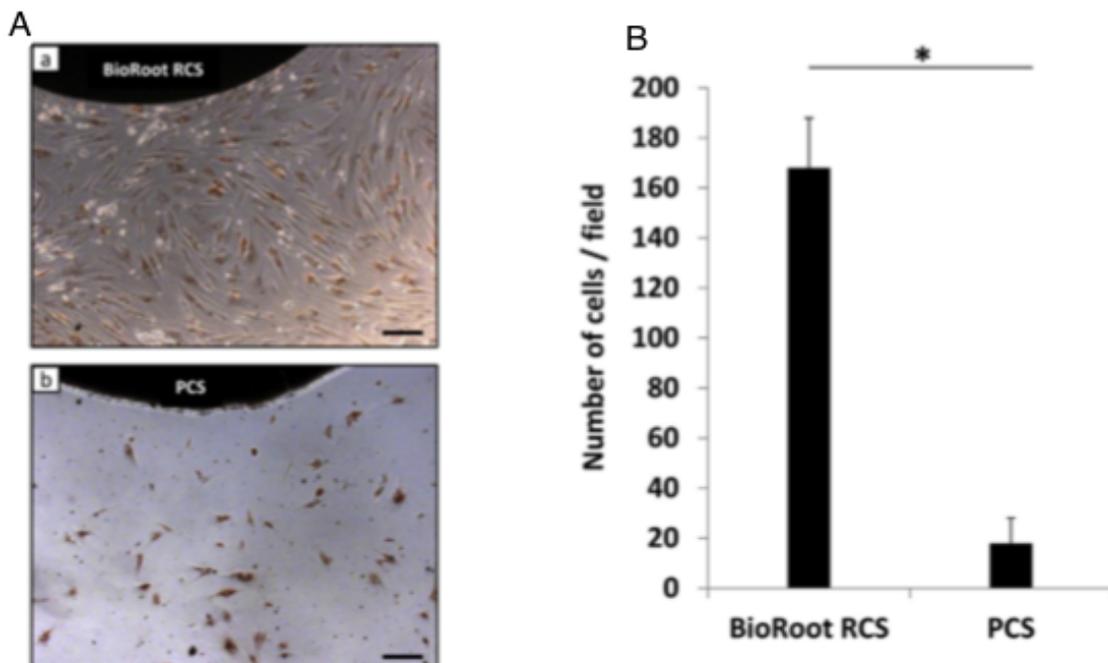


Figure 19. A : Images représentatives de la coloration au phénol rouge des cellules du ligament parodontal humain après 48 heures de culture en présence du BioRoot RCS® (a) ou du PCS® (b). B : diagramme présentant le nombre de cellules du ligament parodontal en présence du BioRoot RCS® ou du PCS® (Camps et al. 2015).

- n'entraînent pas de réponse tissulaire inflammatoire ;
- optimisent les chances de guérison et de cicatrisation en créant un environnement alcalin favorable ;

- bio-activité : interaction avec les parois canalaire pour créer des réactions physico-chimiques ;
- adhésion à la dentine et augmentation de la résistance radulaire à la fracture : les biocéramiques renforcent la résistance mécanique de la dent par la création de liaisons entre le ciment et les parois canalaire, et avec le cône de gutta-percha.

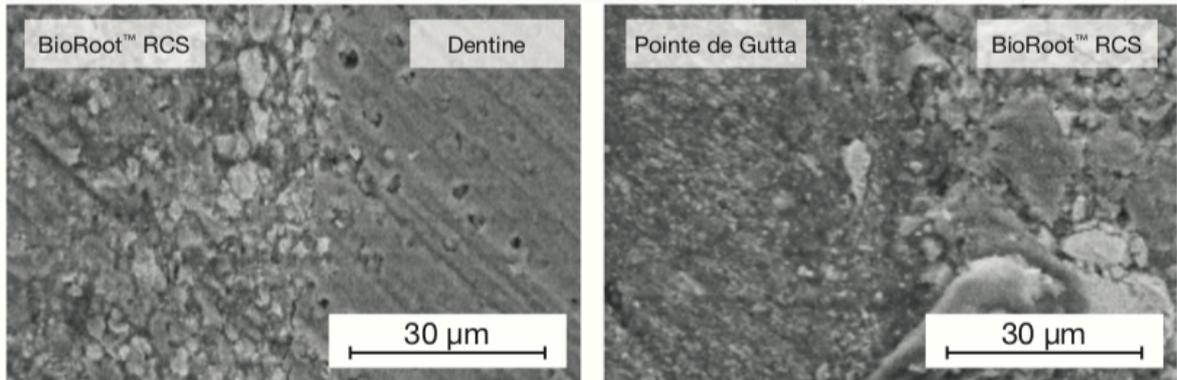


Figure 20. Interface étanche Dentine / BioRoot RCS® / Gutta-percha, observée au microscope électronique (Dossier scientifique interne de Septodont).

Les ciments biocéramiques permettent d'obtenir une obturation plus stable et plus étanche que les ciments d'obturation conventionnels.

Les inconvénients des ciments biocéramiques sont :

- ils résistent aux solvants utilisés pour la désobturation lors d'un retraitement endodontique. A ce jour, il n'existe aucun solvant pour les matériaux biocéramiques ;
- il faut éviter les techniques de compaction à chaud car la température accélère le temps de prise du ciment et augmente son épaisseur, même si elle n'en modifie pas les propriétés chimiques (Camps et al. 2015).

### 2.3.3. Précisions sur le BioRoot RCS®

Le BioRoot RCS® est un matériau développé par Septodont (Saint-Maur-des-Fossés, France), issu de l'« Active Biosilicate Technology », déjà utilisée pour le développement de la BioDentine® (matériau biocéramique utilisé pour les restaurations dentinaires).

Sa composition à base de Silicate Tricalcique, qui le classe dans la famille des biocéramiques, lui confère son pouvoir auto-adhésif.

Il diffère des ciments de scellement classiques, car il peut être considéré comme un matériau d'obturation à part entière.

### 2.3.3.1. Description

- Composition

Il s'obtient par le mélange d'une poudre et d'un liquide.

La poudre est composée essentiellement de silicate tricalcique, de povidone en tant qu'agent de liaison entre la biocéramique et la gutta-percha, et de dioxyde de zirconium pour la radio-opacité.

Le liquide quant à lui est composé d'eau, de chlorure de calcium ayant le rôle d'accélérateur de durcissement, et de polycarboxylate superplastifiant (Prüllage et al. 2016).

- Indications

Le BioRoot RCS® est indiqué pour les obturations permanentes des canaux radiculaires, en conjonction avec des cônes de gutta-percha.

- Contre-indications

Selon la notice du matériau, la seule contre-indication est l'allergie à l'un des composants.

- Effets indésirables

Selon Septodont, il n'y a pas d'effet indésirable connu à ce jour.

- Mélange

Le BioRoot RCS® s'obtient par le mélange de la poudre et du liquide, sur une plaque de verre ou sur un bloc à spatuler.

On y dépose une dose de poudre, calibrée par la cuillère fournie, et on verse 5 gouttes de liquide contenu dans une dosette unidose. À l'aide d'une spatule, on incorpore progressivement la poudre au liquide jusqu'à l'obtention d'une pâte à consistance crémeuse, après 60 secondes de spatulation.

- Manipulation

Dès qu'on finit de mélanger, il faut rincer et nettoyer immédiatement les instruments afin de retirer tout résidu de matériau.

Le temps de travail minimum est de 10 minutes. Le temps de prise est d'environ 27 minutes, et de 4 heures au maximum (Siboni et al. 2017).

- Techniques d'obturation radiculaire avec du BioRoot RCS®

Les techniques d'obturation pouvant être utilisées sont la technique monocône et la technique par condensation latérale à froid.

Les propriétés physiques du BioRoot RCS® sont modifiées par la chaleur, ainsi on évitera de le mettre en place avec des techniques d'obturation nécessitant un apport de chaleur, type compaction verticale à chaud.

En effet, sous l'effet de la chaleur, le BioRoot RCS® présente un temps de travail diminué, une épaisseur augmentée, et une consistance granuleuse. Bien qu'aucune modification des propriétés chimiques ne soit rapportée, la difficulté de manipulation contre-indique l'apport de chaleur (Camilleri 2015, Viapiana et al 2015).

- Désobturation

Selon le fabricant Septodont, puisque la gutta-percha est un matériau désobturable via des solvants, alors le BioRoot RCS® peut être retiré du canal en utilisant les techniques conventionnelles de désobturation.

Cependant, cette propriété est controversée :

- les résultats de Hess (Hess et al. 2011) montrent que les techniques de retraitement conventionnelles ne permettent pas l'élimination complète des ciments biocéramiques ;
- une étude réalisée plus récemment montre que les canaux obturés avec une technique monocône peuvent être désobturés en cas de retraitement, et ce, quel que soit le matériau utilisé en complément, qu'il s'agisse d'un ciment à base d'oxyde de zinc eugénol ou d'un ciment de la famille des biocéramiques (Thèse d'exercice : Scheire 2017).

### **2.3.3.2. Mécanisme d'action**

La réaction de prise du BioRoot RCS® est une réaction d'hydratation du silicate tricalcique contenu dans la poudre, avec la solution aqueuse.

Le fait que la réaction de prise soit une hydratation justifie le fait que le degré d'humidité présent dans le canal radiculaire à obturer va influencer la réaction de prise du BioRoot RCS®, et pourrait donc modifier la qualité de l'obturation.

La réaction de prise des matériaux biocéramiques est la suivante (Brave 2012) :

- les silicates de calcium présents dans la poudre réagissent avec de l'eau (hydratation) pour produire le silicate de calcium en gel et relarguer de l'hydroxyde de calcium  $\text{Ca(OH)}_2$ , ce qui permet les interactions qui s'ensuivent : lors du contact entre le matériau et les fluides tissulaires de l'endodonte, il se produit une interaction entre l'hydroxyde de calcium relargué et les phosphates présents dans les fluides tissulaires ;
- l'hydroxyde de calcium réagit avec les ions phosphates et forme ainsi l'hydroxyapatite et l'eau. L'eau présente en excès va continuer de réagir avec le silicate de calcium pour former un gel de silicate de calcium (Prasannan et al. 2012). L'eau fournie par cette réaction est un facteur important dans le contrôle du taux d'hydratation et du temps de prise.

L'interaction entre le matériau à base de silicate tricalcique et la dentine s'appelle la zone d'infiltration minérale (Atmeh et al. 2012) : la formation de cette couche a été attribuée à la capacité de dépôt de phosphate de calcium (ou apatite) des matériaux à base de silicate en présence de solutions de phosphate (Xuereb et al. 2015).

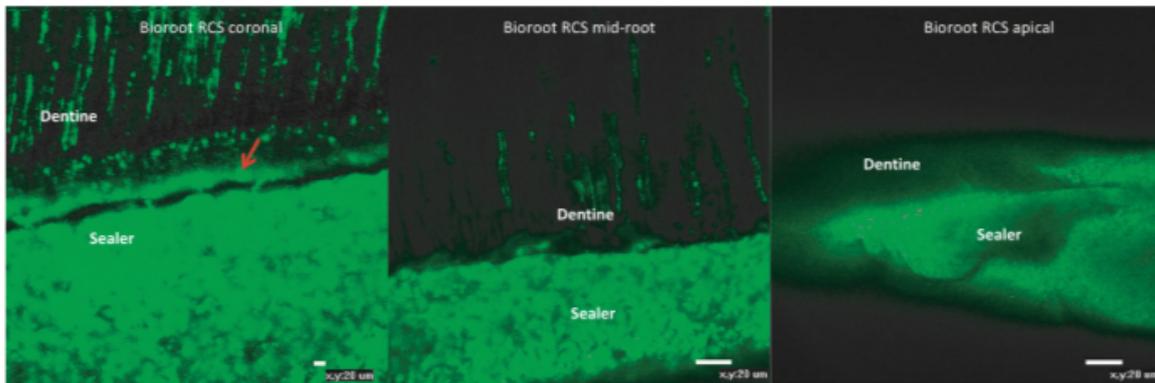


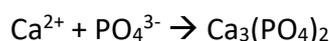
Figure 21. Pénétration du BioRoot RCS® (marqué d'un colorant à la fluorescéine) au sein des tubules dentinaires et zone d'infiltration minérale visible au niveau du tiers coronaire (marquée par la flèche rouge), entre la dentine et le ciment (Viapiana et al. 2016).

Lorsque la phase hydratée et l'hydroxyde de calcium sont produits et que la dissociation de ce sous-produit augmente, le pH de l'environnement augmente et les ions calcium interagissent avec les phosphates des tissus environnants pour provoquer le dépôt d'apatite.

Dissociation de l'hydroxyde de calcium :



Formation du phosphate de calcium (apatite) :



Formule de l'hydroxyapatite :  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ .

Une étude expérimentale a été menée afin d'affiner les connaissances sur les propriétés de ce ciment à base de silicate tricalcique. Une obturation monocône utilisant du BioRoot RCS® a été réalisée. La concentration de certains éléments a été mesurée dans une solution saline équilibrée de Hank après 1 et 28 jours : la quantité de calcium augmente, passant d'environ 20 mg/g à J+1 à environ 29 mg/g à J+28.

Les auteurs ont constaté également un épuisement du phosphore (Khalil et al. 2016).

### 2.3.3.3. Propriétés

	Bioroot™ RCS	Pâtes Oxyde de zinc - EugénoI	Scelllements canalaires à base d'Époxy
HAUTE ÉTANCHÉITÉ	✓	✓	✓
SIMPLE D'EMPLOI	✓	✓	✓
BIOACTIF	✓	✗	✗
PH ÉLEVÉ (>11)	✓	✗	✗
FORMULATION SANS RÉSINE	✓	✓	✗
FORMATION D'HYDROXYAPATITE	✓	✗	✗
MINÉRALISATION DE LA DENTINE	✓	✗	✗
RADIO-OPAQUE	✓	✓	✓

Figure 22. Tableau présenté dans la brochure du BioRoot RCS® disponible sur le site de Septodont.

En plus des propriétés d'un ciment de scellement biocéramique énoncées précédemment, nous allons détailler les propriétés particulières du BioRoot RCS®.

Les propriétés qui mettent en valeur ce matériau, devant les pâtes à base d'oxyde de zinc – eugénoI, sont la bio-activité, le pH alcalin, la formation d'hydroxyapatite, la minéralisation de la dentine.

- Formation d'hydroxyapatite

Ce matériau interagit avec la dentine canalairé, et produit à l'interface avec celle-ci la zone d'infiltration minérale, constituée d'hydroxyapatite dont la formation a été détaillée précédemment.

- Favorable à la cicatrisation osseuse

Le BioRoot RCS® présente un pH élevé qui permet de contrôler l'acidité créée par l'inflammation des tissus. L'effet tampon va rééquilibrer le pH et créer un environnement alcalin favorable à la cicatrisation osseuse.

De plus, son pH augmente sensiblement dans le temps : son pH mesuré à 1 jour est d'environ 12,1 et son pH mesuré à 28 jours augmente par rapport à la première mesure, atteignant environ 12,7 (Khalil et al. 2016). Ce qui montre une persistance dans le temps de cette propriété.

- Minéralisation de la dentine

L'incorporation de calcium et de silicium dans la dentine intertubulaire peut être considérée comme un indicateur de la bio-activité d'un matériau.

Il a été suggéré que la dentine pourrait absorber les éléments libérés par les matériaux bioactifs, tels que le calcium et le silicium, ce qui conduit à une minéralisation accrue dans la dentine adjacente (Viapiana et al. 2014a) :

- l'absorption de calcium par la dentine provoque probablement une modification chimique et structurelle du tissu dur conduisant à l'acquisition d'une augmentation de la résistance chimique (aux acides) et de la résistance physique (Hotta et al. 2001) ;
- le silicium est pour sa part connu pour augmenter la vitesse de croissance des os néo-formés lorsqu'il est libéré par des matériaux bioactifs *in vivo* (Patel et al. 2002). De plus, le silicium induit la reminéralisation de la dentine déminéralisée *in vitro* (Saito et al. 2003).

- Radio-opacité

Le BioRoot RCS® doit sa radio-opacité à l'oxyde de zirconium. Celle-ci est relativement faible, comparée à celle de l'AH Plus® par exemple (2 fois plus importante) ou du Pulp Canal Sealer® ; mais l'opacifiant du BioRoot RCS® est inoffensif, contrairement aux opacifiants des autres ciments cités (sulfate de baryum pour le PCS®, ou tungstate de calcium pour l'AH Plus®), (Khalil et al. 2016).

- Etanchéité

La cristallisation du BioRoot RCS® à l'intérieur des tubules dentinaires crée un scellement étanche.

Des liaisons covalentes sont créées entre le matériau, plus exactement le calcium relargué, et la dentine, plus exactement le phosphate (Gandolfi et al. 2013) (Siboni et al. 2017).

- Stimulation de la régénération tissulaire

La régénération tissulaire *in vivo* s'accompagne de la sécrétion de facteurs de croissance angiogéniques et ostéogéniques.

Le BioRoot RCS® a la capacité d'induire la sécrétion d'un niveau significatif de facteurs angiogéniques et ostéogéniques tels que BMP-2, VEGF et FGF-2 (Camps et al. 2015) ; la présence de ces derniers constitue une condition préalable pour la régénération tissulaire.

En conclusion, c'est un matériau qui stimule la régénération tissulaire, osseuse et vasculaire.

Par comparaison avec le Pulp Canal Sealer® (SybronEndo, Orange, CA), le BioRoot RCS® induit une plus forte sécrétion de facteurs de croissance angiogéniques et ostéogéniques (Camps et al. 2015).

On constate également que le BioRoot RCS® est moins toxique sur les cellules du ligament parodontal que le Pulp Canal Sealer® (Camps et al. 2015).

Toutes ces propriétés vont influencer la technique d'obturation à adopter.

En effet, la technique d'obturation monocône à l'aide d'un cône unique de gutta-percha, auparavant inacceptable d'un point de vue scientifique, devient finalement une technique de choix si elle fait intervenir le BioRoot RCS® ou un autre ciment biocéramique.

La faiblesse majeure de cette technique était le manque de densité de l'obturation, le manque d'étanchéité ; elle est aujourd'hui compensée par la bio-activité, l'étanchéité et la stabilité dimensionnelle du BioRoot RCS®.

Les ciments biocéramiques présentent donc un intérêt majeur : ils permettent de combiner une technique d'obturation simple et rapide (la technique monocône), tout en assurant une obturation de qualité, étanche.

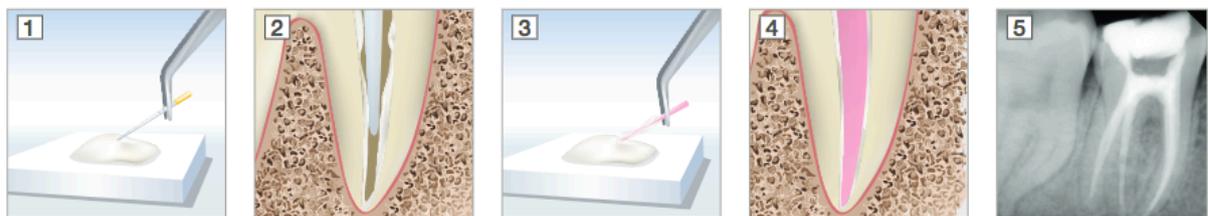
#### **2.3.3.4. Mise en place**

Après avoir réalisé la mise en forme et la désinfection du canal, et après avoir sélectionné le cône de gutta-percha, des pointes de papier stériles sont introduites dans le canal afin de le sécher. Le fabricant du BioRoot RCS® préconise cependant de laisser une « légère humidité » au sein de l'endodonte avant l'obturation.

Puis les parois du canal sont enduites d'une couche de BioRoot RCS®, à l'aide d'une pointe de papier ou d'un cône de gutta-percha.

On réalise l'obturation du canal selon la technique choisie, les cônes de gutta-percha étant enduits de BioRoot RCS® avant leur insertion dans le canal.

La qualité de l'obturation canalaire est évaluée à l'aide d'un cliché radiographique avant de sectionner l'excédent de gutta-percha et de créer un bouchon coronaire à l'aide d'un instrument chauffé et d'un fouloir.



1 Prélèvement BioRoot™ RCS mélangé avec une pointe-papier

2 Recouvrir les parois canalaire avec BioRoot™ RCS

3 Recouvrir le cône ajusté apicalement avec BioRoot™ RCS

4 Introduire délicatement le cône dans le canal radiculaire

5 Radiographie post-opératoire immédiate

Figure 23. Schéma résumant les étapes d'obturation avec du BioRoot RCS® et en technique monocône (tiré de la brochure du BioRoot RCS® sur le site de Septodont).

## 2.4. Techniques d'obturation

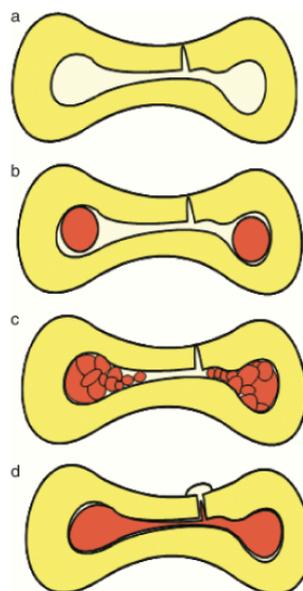


Figure 24. Schéma de coupes transversales de dents après obturation (Whitworth 2005) : la gutta-percha est en rouge, le ciment de scellement en blanc. a) L'obturation est réalisée uniquement avec du ciment de scellement. b) L'obturation est réalisée par l'insertion de maître cône de GP enduit de ciment de scellement. c) L'obturation est réalisée par une condensation latérale à froid. d) L'obturation est réalisée par une condensation à chaud.

## Choix et ajustage du maître cône

Le choix du maître cône est fonction de la conicité et du diamètre du dernier instrument de la préparation canalaire. L'ajustage du maître cône doit répondre à 3 critères : le cône pénètre à la longueur de travail, lors du retrait du cône on doit sentir une résistance au retrait : le « *tug back* », et enfin une radiographie doit montrer que le cône atteint la longueur de travail.

### 2.4.1. Technique de compaction verticale à chaud

La technique de compactage vertical de Schilder consiste à introduire le maître cône ajusté et enduit d'une fine couche de ciment de scellement dans le canal. A l'aide d'un réchauffeur « *heat carrier* » on sectionne la gutta dans la partie haute du canal et le fouloir « *plugger* » condense immédiatement en direction apicale la gutta. On chauffe afin de retirer une petite quantité de gutta et on foule successivement avec les *pluggers* moyen puis fin. Ainsi le tiers apical et les canaux latéraux sont obturés durant cette phase de « descente » ce qui permet une obturation tridimensionnelle. Puis la phase de « remontée » est effectuée.

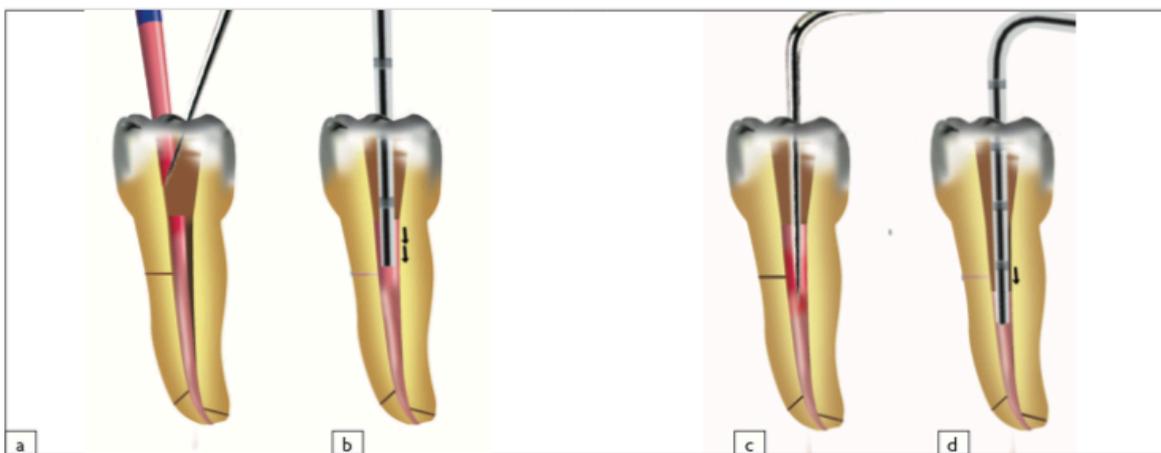


Figure 25. a et b. Le maître cône est sectionné à l'aide du *heat carrier* chaud. Noter la portion coronaire du maître cône qui est ainsi chauffée et plastifiée. La gutta-percha est immédiatement compactée en direction apicale en créant un bouchon de gutta-percha à l'aide du *plugger* 4 ou 3. Le bouchon sera progressivement chauffé et déplacé plus bas. c et d. Le *heat carrier* est activé puis à nouveau plongé dans la gutta-percha. En ressortant, il ramène une portion de gutta-percha. Il faut veiller à ne pas toucher les parois dentinaires. La partie apicale plastifiée sera à nouveau compactée avec le *plugger* de diamètre inférieur.

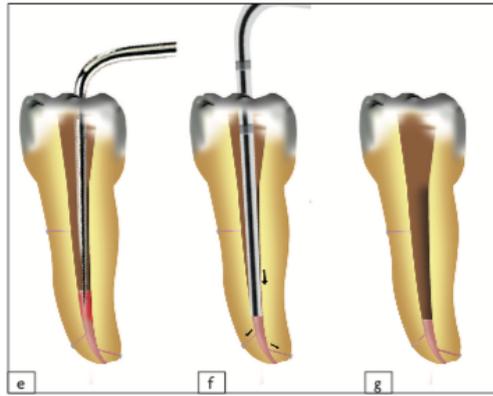


Figure 26. e, f et g. Les mêmes étapes se succèdent jusqu'à ce que le dernier plugger atteigne la profondeur pré-sélectionnée, c'est-à-dire longueur de travail moins 4 ou 5 mm. Le tiers apical et les canaux latéraux sont obturés de manière tridimensionnelle lors de cette phase de descente. La portion coronaire du canal peut être obturée avec un ou deux cônes accessoires et un thermo-compacteur, de la gutta-percha injectée à chaud à partir d'une seringue ou d'un pistolet (Stephane SIMON, Pierre MACHTOU, Wilhelm-Joseph PERTOT 2012).

Cette technique est une référence en termes de densité et d'étanchéité.

#### 2.4.2. Technique d'obturation par condensation verticale à chaud en vague(s) unique ou successives : System B

La technique du System B® (SybronEndo, Orange, Californie) a été mise au point par Steve BUCHANAN en 1994, inspirée de la technique de condensation verticale à chaud de Schilder, et se constituant là aussi d'une phase de descente et d'une phase de remontée. Son originalité réside dans le fait qu'ici le réchauffeur et le fouloir sont le même instrument, HCP (*Heat Carrier Plugger*).

La première étape consiste à sélectionner le bon instrument HCP, c'est-à-dire celui qui pénètre le plus profondément dans le canal. On l'introduit dans le canal, et pour éviter toute contrainte (mécanique ou thermique) avec les parois canalaires on remonte le stop de 0,5 mm.

Le maître cône, préalablement sélectionné et ajusté pour une bonne étanchéité apicale, est enduit de ciment et inséré dans le canal.

Le fouloir HCP est activé au moins 2 secondes de façon à couper le cône à l'orifice canalaire, puis on condense la gutta percha à l'aide d'un fouloir manuel utilisé à froid.

Le fouloir de Buchanan préalablement choisi est introduit de façon centrée dans le canal sans contrainte au contact de la gutta-percha. Celui-ci est activé et enfoncé en direction

apicale dans un mouvement continu ; lorsque le stop à est 2 mm du point de référence, le HCP est désactivé tout en continuant d'appuyer pour que le stop arrive au point de référence. La pression est maintenue pendant 5 à 10 secondes.

Enfin, on active à nouveau le HCP et on anime le fouloir d'un léger mouvement de rotation afin de le retirer du canal ; la majeure partie de l'instrument doit être recouverte de gutta-percha et de ciment. A l'aide d'un plugger manuel, on condense la masse apicale de gutta-percha pendant 5 à 6 secondes.

La phase de descente permet d'obturer les espaces latéraux et de former un bouchon apical de gutta-percha.

Pour la phase de remontée, cette technique est généralement associée à un système d'injection de gutta-percha tel que Obtura (Obtura Spartan, Earth City, Mo.) qui consiste à injecter directement la gutta réchauffée dans le canal préparé via un pistolet relié à une aiguille adaptée au diamètre canalaire. L'injection doit être réalisée en plusieurs fois, en alternant injection et compaction de la gutta-percha avec des fouloirs.

La combinaison de ces techniques permet une obturation tridimensionnelle de qualité.



Figure 27. Illustration de la technique en vague unique, présentant un fouloir HCP activé en position finale (Gencoglu et al. 2014).

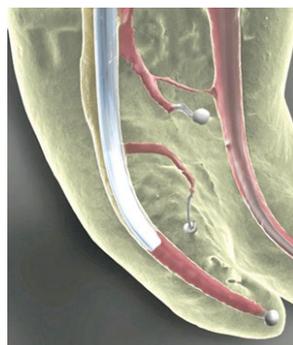


Figure 28. Illustration de la technique en vague unique présentant un HCP désactivé condensant la masse apicale de gutta-percha (Gencoglu et al. 2014).

### **2.4.3. Technique monocône**

Représentée dans la coupe b) Figure 24, elle consiste en l'introduction du maître cône ajusté de gutta-percha, enduit de ciment de scellement, jusqu'à la longueur de travail.

Après contrôle radiographique final de la qualité de l'obturation, les excès coronaires sont sectionnés à chaud puis à l'aide d'un fouloir on crée un bouchon coronaire.

La technique monocône est choisie pour sa facilité et sa rapidité de mise en œuvre, mais la densité et l'étanchéité de l'obturation obtenue n'est pas acceptable en utilisant des ciments conventionnels. En revanche, le fait que les nouveaux ciments biocéramiques soient de véritables matériaux d'obturation à part entière a permis de reconsidérer cette technique simple, dès lors qu'elle est utilisée avec ce type de matériau d'obturation.

### **2.4.4. Technique de compaction thermo-mécanique de JT Mac Spadden**

Le maître cône est introduit dans le canal à la longueur de travail, enduit d'une fine couche de ciment de scellement.

Le thermo-compacteur est introduit à l'arrêt entre le cône et la paroi canalaire (Figure 29), puis il est mis en rotation horaire pendant 4 à 5 secondes. Enfin, le retrait du compacteur est effectué lentement sans modifier la vitesse de rotation, en s'appuyant contre les parois. On réalise un compactage manuel final à l'entrée du canal.

Cette technique est relativement rapide et reproductible, mais elle nécessite une courbe d'apprentissage importante et n'est indiquée que pour les canaux rectilignes car le compacteur ne peut pas prendre les courbures et présente alors un risque important de fracture.

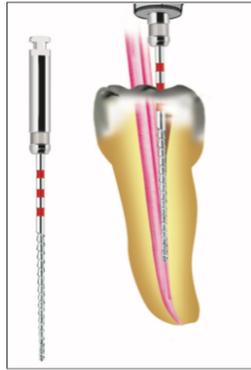


Figure 29. Après avoir inséré le maître cône, le thermocompacteur est utilisé en rotation horaire pour plastifier et propulser la gutta dans le réseau canalaire des deux tiers coronaires (Stephane SIMON, Pierre MACHTOU, Wilhelm-Joseph PERTOT 2012).

#### 2.4.5. Technique de condensation latérale à froid

Représentée dans la coupe c) Figure 24, elle consiste à introduire un maximum de cônes de gutta-percha à l'aide d'un « *spreader* » (fouloir latéral) : après avoir introduit le premier cône ajusté à la longueur de travail moins 2 mm, il faut l'écraser contre la paroi canalaire et en direction apicale à l'aide du *spreader* pour condenser la gutta-percha et atteindre la longueur de travail. Ensuite on insère un cône accessoire dans l'espace créé par le *spreader*, on le condense latéralement contre la paroi canalaire, puis on insère un autre cône accessoire et ainsi de suite jusqu'à obturation complète du canal.

Cette technique est relativement chronophage mais elle permet d'obtenir de bons résultats lorsqu'elle est bien maîtrisée.

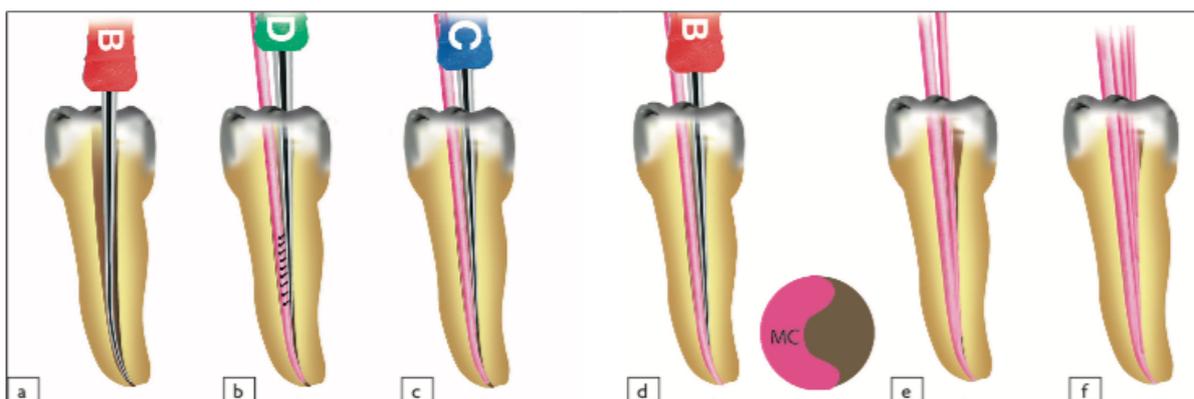


Figure 30. a. L'essayage des fouloirs (*spreaders*) permet de sélectionner celui qui peut atteindre la longueur de travail moins 2 mm. b et c. Le cône badigeonné de ciment de scellement est inséré dans le canal. Le fouloir D, le plus gros, compacte le tiers cervical du maître cône et crée l'espace pour que le fouloir suivant puisse pénétrer plus apicalement. d. Le fouloir le plus fin est ensuite inséré le long du cône et le compacte à son tour au niveau du tiers apical, le faisant progresser jusqu'à la longueur de travail. Vue en section du canal après retrait du fouloir au niveau des tiers coronaire et moyen. e et f. Le maître cône compacté contre la paroi canalaire laisse un vide latéral qui sera comblé par les cônes accessoires, qui y sont insérés. Ils sont compactés à leur tour jusqu'à l'obturation complète (Stephane SIMON, Pierre MACHTOU, Wilhelm-Joseph PERTOT 2012).

### 3 MATERIELS ET METHODES

En 2000, Wu réalise une étude comparant 3 techniques d'obturation canalaire en respectant un protocole bien précis (Wu et al. 2000a).

L'étude menée ici, visant à comparer 2 techniques d'obturation, se base sur ce protocole expérimental en reprenant le même cheminement.

#### 3.1. Sélection de l'échantillon

L'étude est réalisée sur des racines de dents humaines extraites parmi des racines distales de molaires mandibulaires, des racines d'incisives et de canines mandibulaires et des racines de molaires maxillaires.

Les racines dont le canal est ovale sont sélectionnées; ce critère est vérifié en réalisant des radiographies des racines, parfois selon plusieurs angulations.

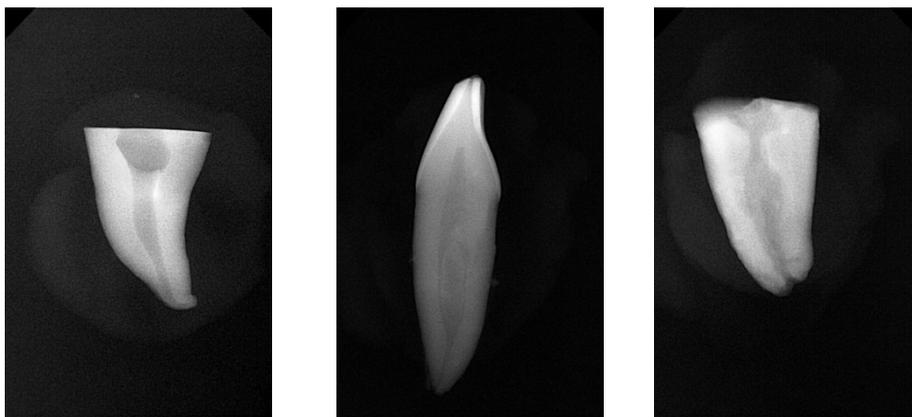


Figure 31. Radiographies de racines.

L'échantillon est composé de 20 racines, présentant un canal ovulaire.

#### 3.2. Préparation des échantillons : mise en forme canalaire

La mise en forme canalaire est standardisée pour l'ensemble de l'échantillon. Le même plateau technique est utilisé pour les 20 racines.



Figure 32. Ci-dessus, le plateau technique utilisé pour la mise en forme des 20 racines : une seringue d'hypochlorite de sodium, une règle millimétrée, un mini-gripp pour y disposer les différentes limes, des compresses, une sonde endodontique, et une précelle. Sur la photographie de droite, le moteur endodontique X-Smart Plus (Dentsply Sirona), réglé sur le programme de réciprocité WaveOne® Gold. En dessous, la boîte de cône de gutta-percha, de la gamme WaveOne® Gold Primary, correspondant à la lime de réciprocité de la même gamme.

- Les 20 dents extraites, conservées dans de l'hypochlorite de sodium et de l'huile de paraffine jusqu'au début de l'expérimentation, sont sectionnées horizontalement à la jonction amélo-cémentaire, à l'aide d'une fraise Zekrya chirurgicale montée sur un contre-angle bague rouge.
- Une exploration initiale est réalisée avec une lime K10 (Dentsply® Sirona) pour établir la longueur de travail, laquelle a été déterminée en ôtant 0,5 mm à la longueur obtenue lorsque la pointe de la lime est visible à l'œil nu au de l'apex anatomique . Les longueurs de travail ne vont pas au-delà de 14 mm.



Figure 33. Détermination de la longueur de travail d'une racine à l'aide d'une lime K10.

- Un WaveOne Gold Glider (Dentsply® Sirona), monté sur le contre-angle X-SmartPlus (Dentsply® Sirona), sur le programme WaveOne Gold, est introduit dans le canal à la longueur de travail, afin de réaliser un pré-élargissement du canal.
- La mise en forme est réalisée avec un instrument unique en nickel-titane, le Wave One® Gold Primary (de 0,25 mm de diamètre et présentant une conicité de 7%) selon un mouvement alternatif non symétrique, le mouvement de réciprocité.

Le WaveOne® Gold Primary est introduit à longueur de travail en appliquant une légère pression en direction apicale et la lime progresse de manière passive sur une portion canalaire de 2-3 mm, en un léger mouvement de va-et-vient de faible amplitude. L'irrigation canalaire est réalisée à l'aide d'une solution d'hypochlorite de sodium stabilisée à 2,5% (Dentsply® Sirona) durant la progression de la lime ; les débris sont retirés des spires si besoin. La progression jusqu'à la longueur de travail se fait sans appliquer de force.



Figure 34. De haut en bas : la lime manuelle K10 pour l'exploration canalaire, la lime mécanisée WaveOne® Gold Glider et la lime WaveOne® Gold Primary.

- Chaque canal est irrigué avec 2 mL de solution d'hypochlorite de sodium à 2%, en utilisant une seringue et une aiguille 27 gauge, entre chaque instrument.
- Le maître cône est ajusté : le cône de gutta-percha, de la gamme WaveOne® Gold Primary, est inséré dans le canal ; il doit pénétrer à la longueur de travail (à l'œil nu, la pointe du cône doit affleurer au foramen) et sa désinsertion doit présenter une

résistance au retrait (« tug back »). Cette étape permet de contrôler la qualité de la mise en forme canalaire.



Figure 35. Insertion du maître cône de gutta-percha à la longueur de travail.

- Le rinçage final est réalisé : le canal rempli d'hypochlorite de sodium, un cône de gutta-percha ajusté est agité pendant 30 secondes.

La mise en forme terminée, les échantillons sont conservés en milieu humide dans des pots individuels.

### **3.3. Répartition des échantillons en 2 groupes : obturation**

Les 20 racines sont séparées au hasard en 2 groupes de 10 racines chacun. Les maîtres cônes utilisés sont des cônes de la gamme WaveOne® Gold Primary, de forme cylindro-conique, adaptés à la lime mécanisée de la même gamme utilisée pour la mise en forme.

#### **3.3.1. Groupe Verticale à chaud (VC)**

Ce groupe contient donc 10 racines mises en forme, obturées selon la technique de condensation verticale à chaud en une vague de Buchanan, à l'aide d'un maître cône de gutta-percha et d'un ciment à base d'oxyde de zinc et d'eugénol, le Pulp Canal Sealer®. Le Système Elements Free (Kerr Endodontics) permet de réaliser l'obturation verticale à chaud.



Figure 36. Système Elements Free (Kerr Endodontics) sur sa base de charge.

- Sélection du fouloir / réchauffeur HCP (*Heat Carrier Plugger*) jusqu'à pénétration la plus profonde dans le canal, et mise en place d'un stop à cette longueur moins 0,5 mm.
- Ajustage du maître cône de gutta-percha.
- Séchage final à l'aide de pointes de papier stériles.
- Préparation du ciment : mélange de la poudre et du liquide selon les indications du fabricant.
- Mise en place du ciment : les parois canalaires sont enduites de ciment, avec le maître-cône sur lequel est déposé une faible quantité de ciment.
- Insertion du maître cône à la longueur de travail moins 0,5 mm.
- Section du cône à l'orifice canalaire à l'aide du HCP Heat Carrier Plugger, puis condensation de la gutta-percha en direction apicale à l'aide d'un fouloir manuel à froid.
- Phase de « descente » : introduction à nouveau du HCP activé et application d'une pression en direction apicale, jusqu'à ce que le stop arrive à 2 mm de son point de référence, puis la pression est maintenue pour progresser de ces 2 derniers millimètres. Le HCP est réactivé afin d'être retiré, il emporte alors avec lui une petite quantité de gutta-percha. Finalement, le fouloir manuel intervient pour condenser la gutta percha en direction apicale.
- Le tiers apical et les canaux latéraux sont ainsi obturés pendant cette phase de « descente ».
- Pour finir, la phase de « remontée » est effectuée en injectant de la gutta-percha chaude jusqu'à l'entrée coronaire. Un bouchon coronaire est réalisé à l'aide d'un fouloir.

### **3.3.2. Groupe Monocône (MC)**

Dans ce groupe, les 10 racines sont obturées en technique monocône avec un maître cône de gutta-percha, considéré comme tuteur, et du ciment biocéramique BioRoot RCS®, en guise de ciment ET de matériau de remplissage.

- Une fois le canal séché modérément avec des pointes de papier, le ciment est préparé selon le protocole décrit précédemment.
- Le BioRoot RCS® est déposé dans le canal avec un lentulo monté sur un contre-angle d'endodontie (X-Smart Plus, Dentsply Sirona) réglé à 800 tours/minute, torque 1 N/cm.
- Le cône de gutta-percha est enduit de ciment.
- Celui-ci est inséré dans le canal à la longueur de travail.
- Un bouchon coronaire est finalement réalisé en sectionnant le cône à l'aide d'un instrument chauffé (heat carrier) à l'entrée coronaire. A l'aide d'un fouloir, une pression est exercée en direction apicale pour compacter.

### **3.4. Préparation des échantillons pour l'observation au microscope optique**

#### **3.4.1. Conservation**

Une fois obturées, les racines sont placées pendant 4 jours en incubateur à 37°C.

#### **3.4.2. Inclusion**

Au laboratoire, les racines sont incluses dans de la résine Epoxy (ClaroCit Kit) pour faciliter les coupes.

Les racines sont placées dans des moules. La résine est mélangée (20 g de poudre avec 12 g de liquide) puis déposée dans les moules, afin de recouvrir totalement les racines.

La prise est de 2 à 4 heures ; les blocs de résine sont laissés au laboratoire pendant 7 jours à température ambiante à l'air libre.



Figure 37. Positionnement des racines dans les moules à résine.



Figure 38. Remplissage des moules avec la résine, jusqu'à recouvrir complètement les racines.



Figure 39. Résine utilisée pour l'inclusion des racines.



Figure 40. Moules remplis de résine.

### 3.4.3. Coupes et polissage

On réalise des coupes transversales des racines incluses dans les blocs de résine à l'aide d'un microtome : l'axe de la racine et sa perpendiculaire sont tracées au crayon, cette dernière sera l'axe de coupe.

Le bloc de résine est inséré entre deux plaques, puis fixé en serrant les vis (visibles sur la photographie ci-dessous).

Le curseur, relié à l'échantillon, est déplacé de façon à ce que l'apex de la dent soit sur l'axe du disque. On peut ensuite déplacer le curseur à la valeur numérique voulue, affichée sur l'écran du microtome : par exemple « déplacement -1,00 mm » pour la coupe à 1 mm de l'apex anatomique.

La première coupe est effectuée au niveau du tiers apical, à 1 mm de l'apex anatomique, sous irrigation constante.

La deuxième coupe est réalisée au niveau du tiers médian, à 5mm de l'apex anatomique.

La troisième coupe est réalisée à 9 mm de l'apex anatomique.



*Figure 41. Échantillon placé dans le microtome et positionné de façon à ce que les plaques noires entre lesquelles il est serré soient parallèles à l'axe de coupe.*



*Figure 42. L'échantillon est placé de façon à ce que l'apex anatomique soit sur l'axe du disque.*



Figure 43. Ecran du microtome: dans la fenêtre déplacement, on peut choisir la valeur numérique du déplacement de l'échantillon par rapport au disque, et ainsi positionner les coupes à x distance en mm de l'apex anatomique.



Figure 44. Écran du microtome montrant un déplacement de -1,0 mm par rapport à la position initiale de l'échantillon : ce déplacement correspond à la position de coupe à 1 mm de l'apex anatomique.

La surface des coupes à observer est polie à l'aide d'un disque en papier de verre à 2400 (granulométrie Micro-Mesh), monté sur la « machine à polir », sous irrigation constante.

#### 3.4.4. Observation des coupes au microscope optique

Les coupes sont observées au microscope optique (Flexion advanced®, CJ-Optik), et photographiées à un grossissement x 25 à l'aide d'un appareil photo Sony alpha 7 (Sony corporation) monté sur le microscope opératoire grâce à un diviseur optique.



Figure 45. Photographie du microscope CJ Optik avec l'appareil photo (en haut à droite de l'image).

### 3.4.5. Analyse des photographies obtenues

Les photographies des coupes sont analysées à l'aide du logiciel Image J : ce logiciel permet de calculer des surfaces (en pixels) et ainsi d'obtenir un ratio entre la surface de gutta-percha et la surface totale de l'obturation, c'est-à-dire la surface de ciment plus celle de gutta-percha.

Chaque cliché est analysé de la façon suivante :

- on ouvre l'image en cliquant sur « File » puis « Open », on sélectionne l'image à observer ;
- on zoome sur la coupe de la racine à observer (à l'aide des touches « + » et « - »).

Voici un exemple de l'analyse d'un échantillon (le n°278), on commence par la coupe à 1 mm de l'apex anatomique, voici la photographie zoomée :



Figure 46. Photographie zoomée de la coupe à 1 mm de l'apex anatomique. La gutta-percha apparaît en rose, le ciment BioRoot RCS® en blanc grisâtre (comme ici) et le ciment Pulp Canal Sealer® en gris.

Les mesures de l'aire de gutta-percha et de l'aire totale de l'obturation (gutta + ciment) sont effectuées en sélectionnant le symbole de la fonction « polygon selection », et le périmètre de la forme à analyser est dessiné ; une fois la forme déterminée, l'aire de cette forme est mesurée en pixels en cliquant sur « Analyse », puis « Measure » (ou cmd+M) : une nouvelle fenêtre « Results » s'ouvre avec le résultat correspondant.

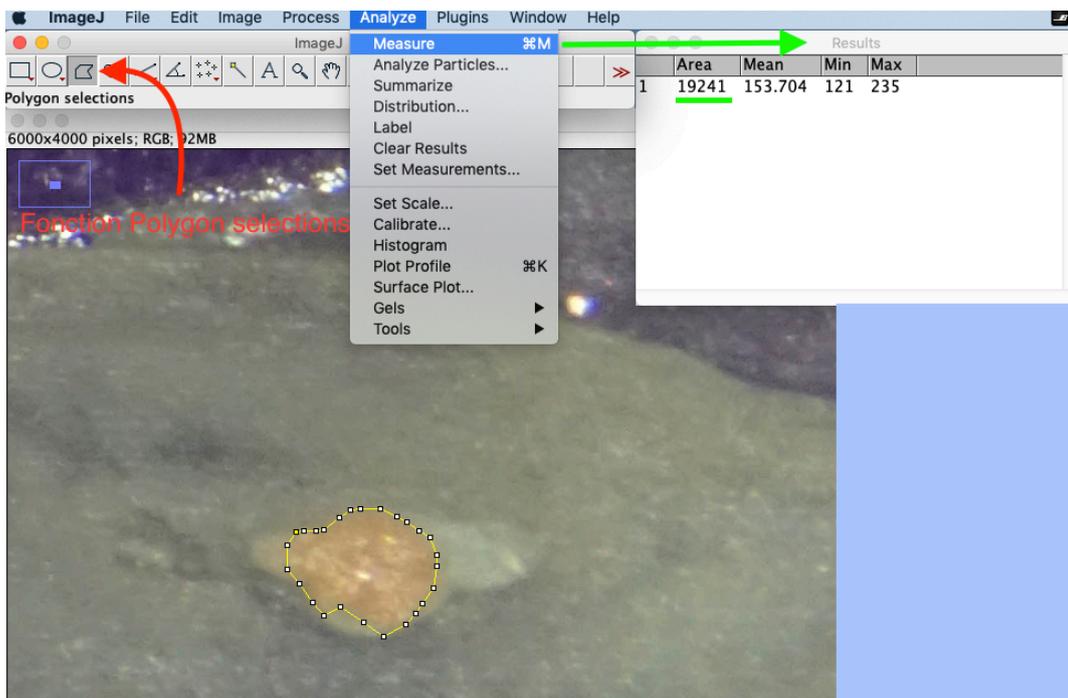


Figure 47. Capture d'écran du logiciel Image J, avec les légendes présentant les différentes fonctionnalités permettant de calculer l'aire de gutta-percha en pixels.

- La même opération est répétée pour calculer l'aire totale de l'obturation, en sélectionnant la fonction polygone, puis cmd+M pour obtenir la valeur de l'aire en pixels, dans la fenêtre résultats :

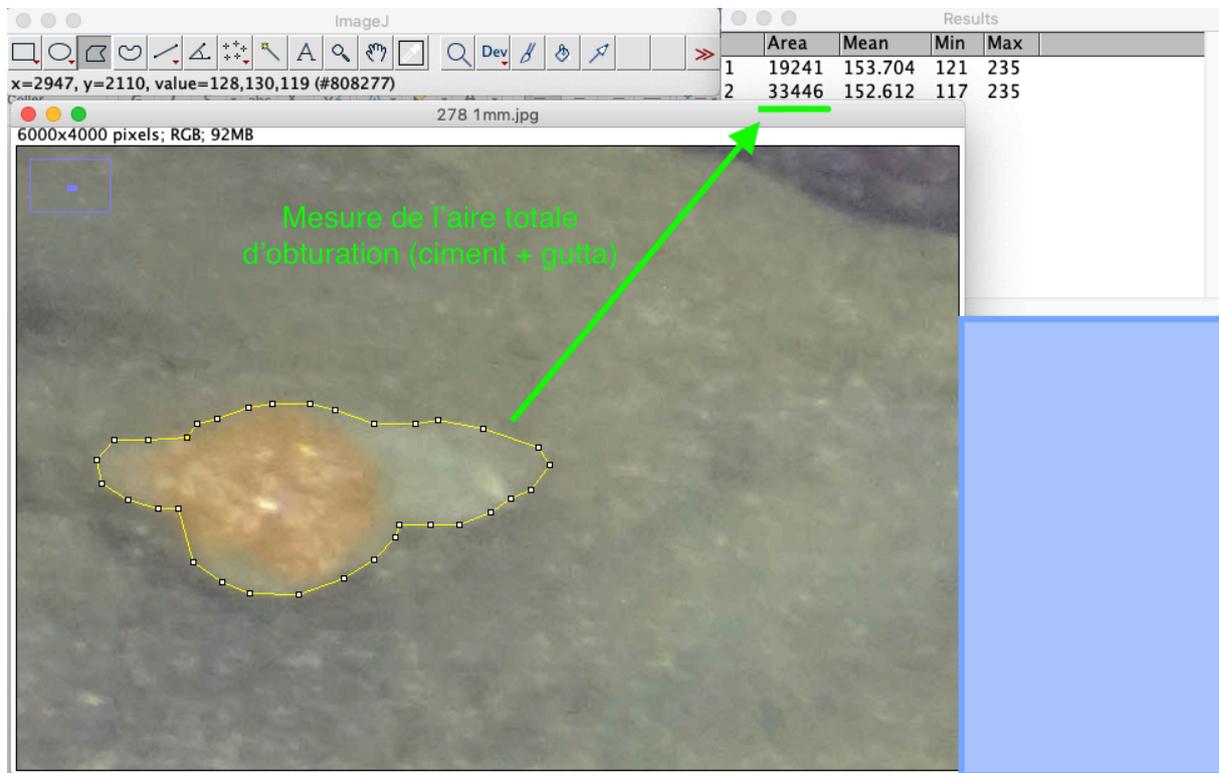


Figure 48. Mesure de l'aire de l'obturation, en pixels.

On ouvre ensuite la photographie de la coupe suivante, le même échantillon coupé à 5 mm de l'apex anatomique (on sélectionne « File » puis « Open next » ou le raccourci, les photographies étant ordonnées dans le fichier).

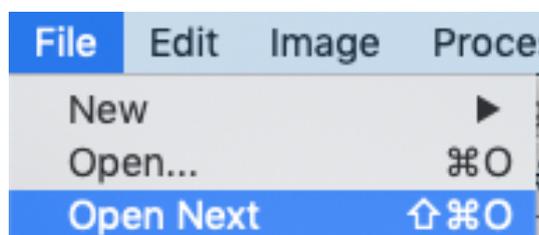


Figure 49. Raccourci permettant d'ouvrir les photographies des échantillons à la suite.

Les mêmes calculs sont réalisés pour la coupe à 5 mm (ici aire de gutta-percha) :



Figure 50. Photographie zoomée de la coupe à 5 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°278.

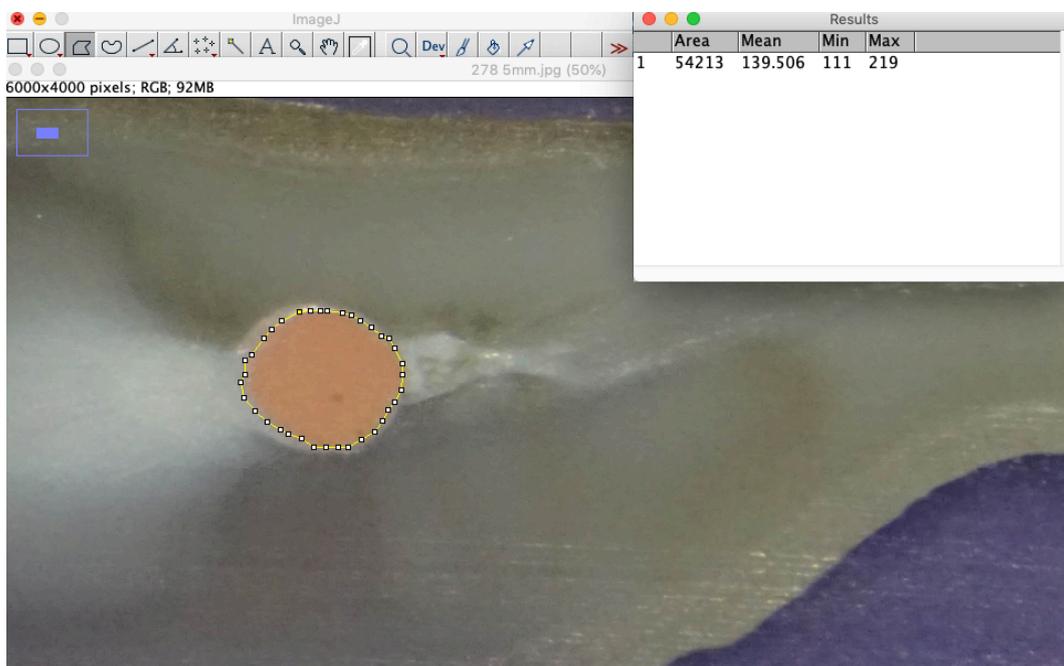


Figure 51. Dessin de la surface de gutta-percha de la coupe à 5 mm de l'échantillon n°278, et calcul de l'aire de cette surface.

Puis pour la coupe à 9 mm (ici aire totale de l'obturation) :

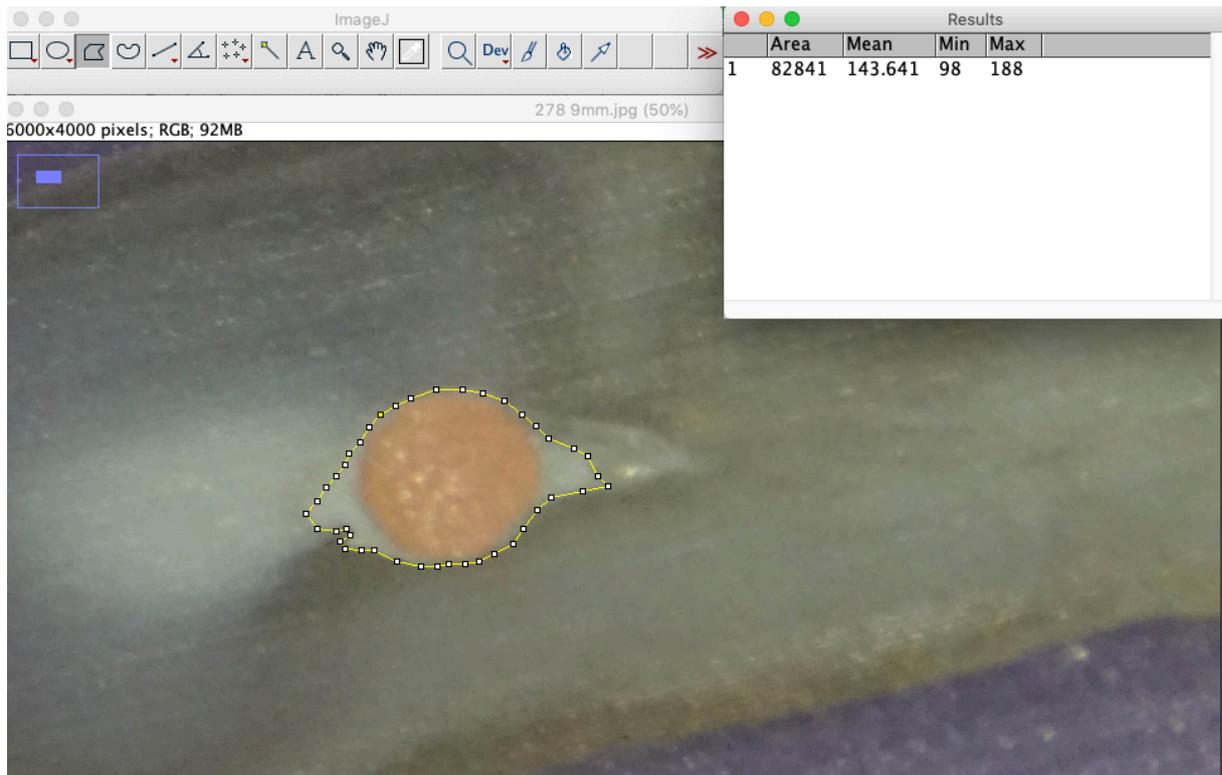


Figure 52. Dessin de la surface de l'obturation de la coupe à 9 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°278, et calcul de l'aire de cette surface.

Pour chaque coupe, la présence ou non de bulle et de manque est relevée.

Une bulle est un espace vide présent au sein de l'obturation, tandis que le manque représente un défaut d'obturation, visible entre l'obturation et la paroi canalaire.

On calcule également la surface des manques lorsqu'ils sont présents.



Bulle au sein du BioRoot RCS

Figure 53. Bulle présente au sein du BioRoot RCS® sur la coupe à 9 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°274(1).



Figure 54. Manque d'obturation présent sur la coupe à 9 mm de l'échantillon n°313. On note parallèlement une déformation du cône.

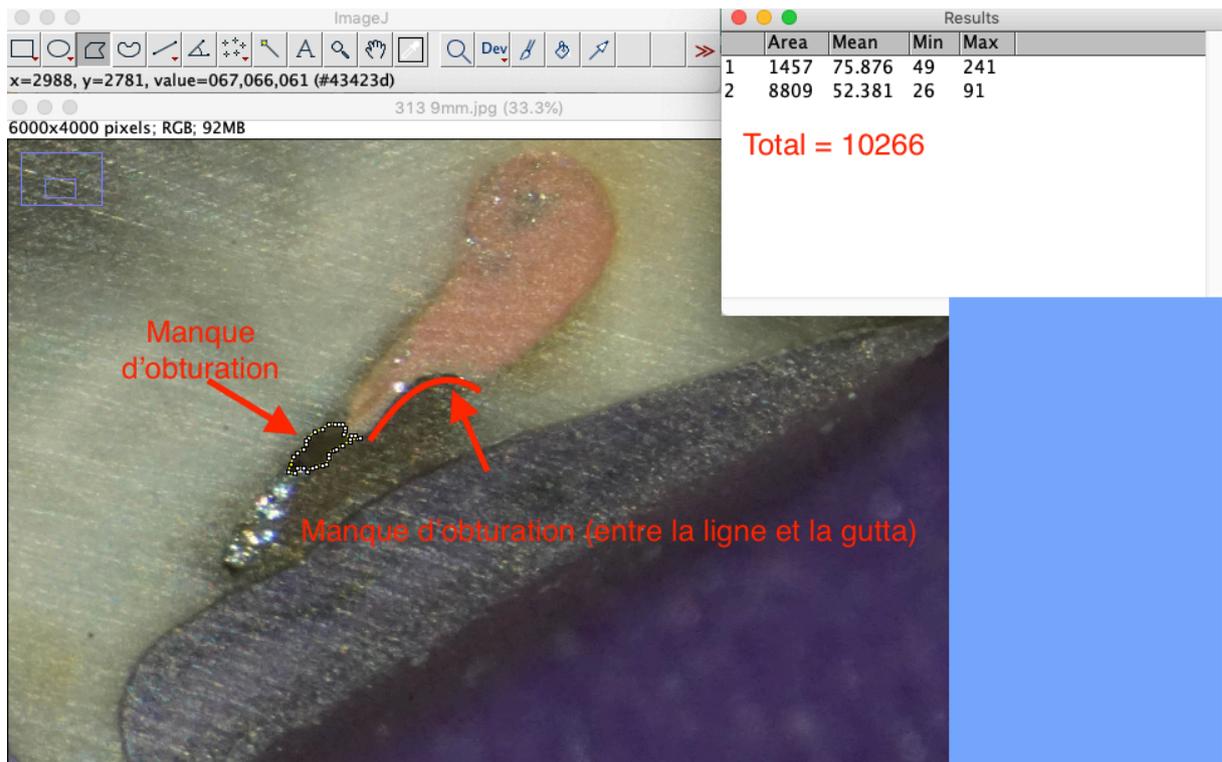


Figure 55. Capture d'écran du calcul de l'aire des manques d'obturation présents.

On relève s'il y a une déformation ou non du cône de gutta-percha : si le périmètre de gutta-percha n'est pas un cercle, il est considéré que le cône présente une déformation.

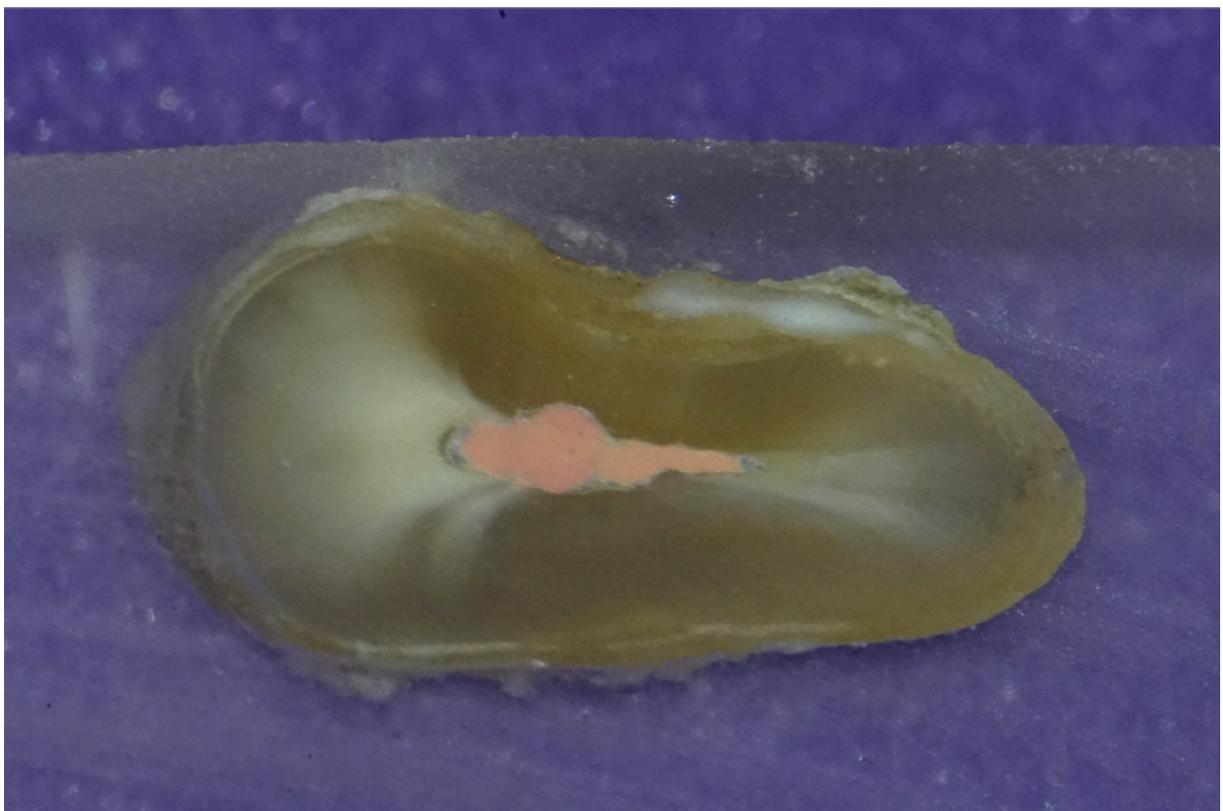


Figure 56. Photographie de la coupe à 5 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°313, sur laquelle la déformation du cône initialement cylindro-conique est visible (cet échantillon appartient au groupe VC).

Sur certaines coupes, l'inclusion de ciment au sein de la gutta-percha est visible.

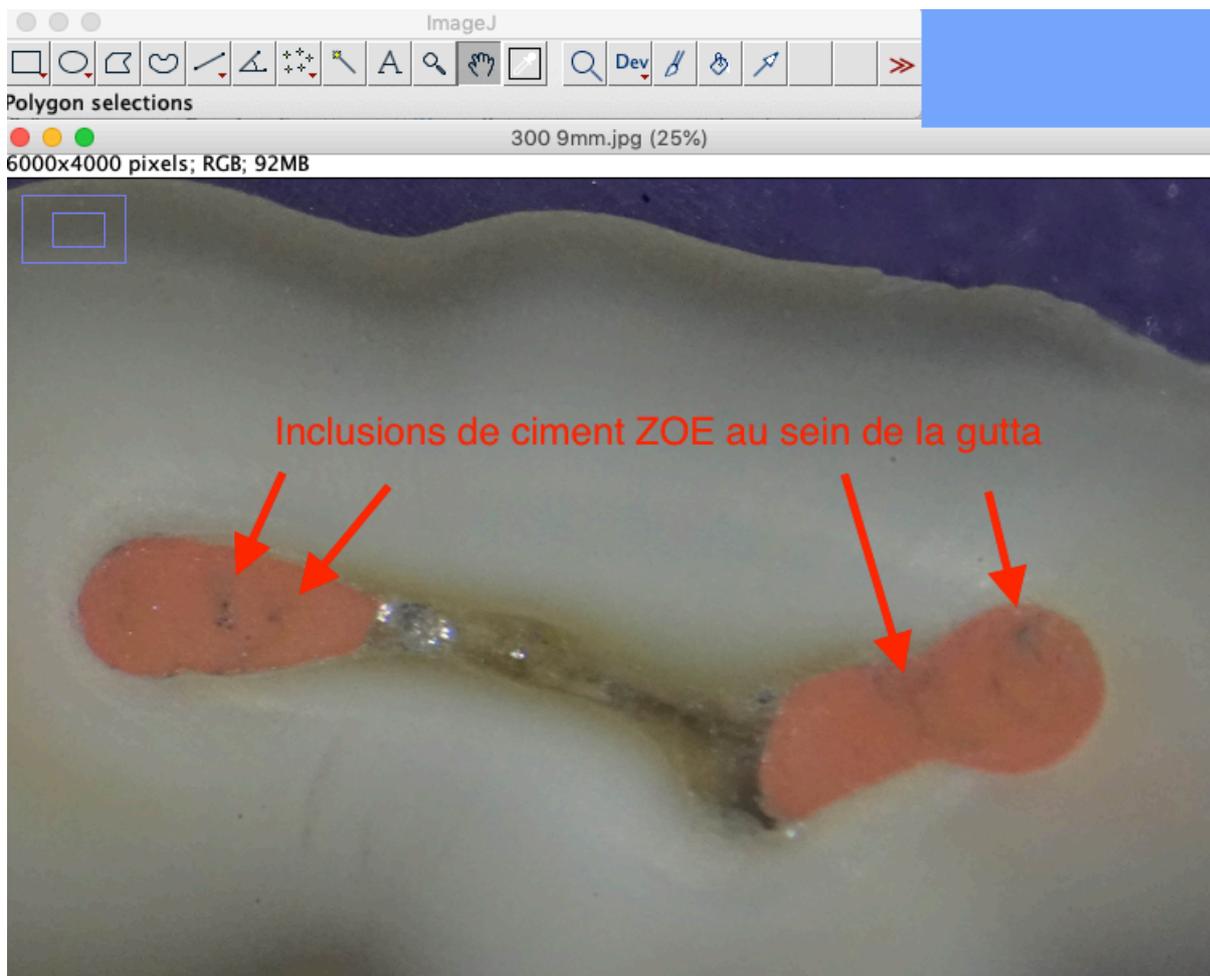


Figure 57. Photographie de la coupe à 9 mm de l'échantillon n°300 présentant des inclusions de ciment ZOE au sein de la gutta-percha.

## 4 RESULTATS

Les résultats obtenus sont reportés dans plusieurs tableaux Excel (en annexe), ce qui nous permet de calculer facilement des moyennes.

Critère	Localisation (distance de l'apex anatomique)		
	Groupe VC (moyenne)	Groupe MC (moyenne)	
Ratio aire de gutta-percha/aire de ciment	Toutes	83,9%	65,3%
	1mm	70,1%	56,6%
	5mm	85,1%	69,3%
	9mm	90,4%	70,1%
Déformation	Toutes	46,7%	46,7%
	1mm	30%	50%
	5mm	50%	30%
	9mm	60%	60%
Présence de manque d'obturation	Toutes	16,7%	36,7%
	1mm	50%	10%
	5mm	10%	40%
	9mm	20%	40%
Bulle	Toutes	10%	30%
	1mm	0%	20%
	5mm	20%	50%
	9mm	10%	40%
% de manque sur l'aire canalaire	Toutes	2,2%	1,3%
	1mm	1%	1,3%
	5mm	3,1%	1,1%
	9mm	2,3%	1,4%

Figure 58. Tableau récapitulatif des moyennes des critères observés

### 4.1. Généralités

L'obturation des coupes des dents du groupe VC présente en moyenne 83,9% de remplissage par de la gutta-percha, soit 16,1% de remplissage par du PCS® (en résumé, rapport moyen de 4/5 de gutta-percha, 1/5 de ciment). 16,7% des coupes présentent un manque d'obturation.

L'obturation des coupes des dents du groupe MC présente en moyenne 65,3% de remplissage par de la gutta-percha, soit 34,7% de remplissage par du BioRoot RCS® (en résumé, rapport moyen de 2/3 de gutta-percha, 1/3 de ciment). 30% des coupes présentent un manque d'obturation.

Que ce soit dans le groupe VC ou le groupe MC, près de 50% des coupes présentent une déformation du cône de gutta-percha (14 coupes sur 30 dans chaque groupe).

Localisation	Ratio Gutta-percha/ciment en % (Ecart-type)	
	Technique Monocône	Technique Verticale à chaud
Toutes	65,3 ( $\sigma=23,5$ )	83,9 ( $\sigma =16,3$ )

Figure 59. Tableau comparant les ratios obtenus, toutes localisations confondues, avec les deux techniques d'obturation.

#### 4.1.1. Coupes à 9 mm de l'apex anatomique : tiers coronaire

Au tiers coronaire, les coupes du groupe VC présentent une obturation composée à 90,4% de gutta-percha, et 20% de ces coupes présentent un manque ; tandis que les coupes du groupe MC présentent une obturation composée à 70,1% de gutta-percha, et 40% de ces coupes présentent un manque.

Localisation	Ratio Gutta-percha/ciment en % (Ecart-type)	
	Technique Monocône	Technique Verticale à chaud
9 mm de l'apex anatomique	70,1 ( $\sigma =17,8$ )	90,4 ( $\sigma =8,6$ )

Figure 60. Tableau comparant les ratios obtenus, à 9 mm de l'apex anatomique, avec les deux techniques d'obturation.

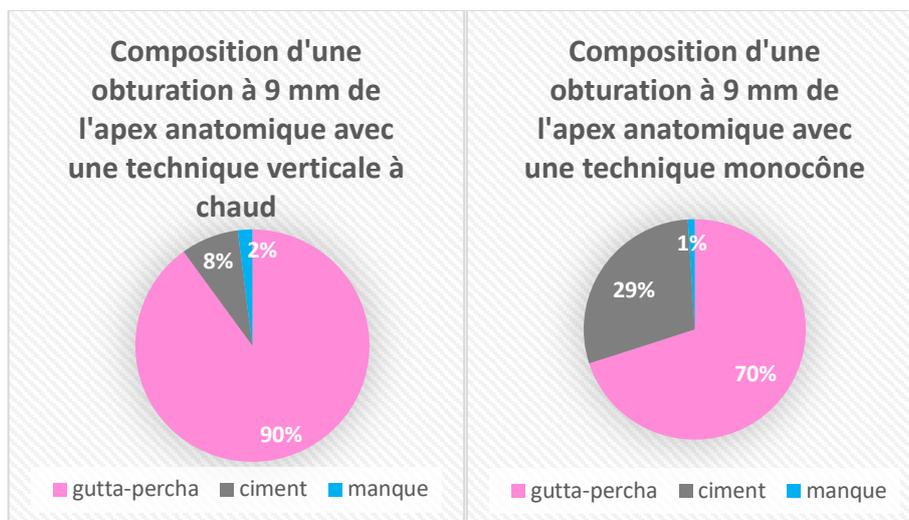


Figure 61. Détail de la composition moyenne d'une obturation à 9 mm de l'apex anatomique observée.

Ci-dessous sont présentées des photographies représentatives des résultats obtenus : la couche de ciment n'est pas perceptible sur la coupe de l'échantillon du groupe VC (fig.63), ce qui n'est pas le cas de la coupe de l'échantillon du groupe MC (fig.62). La masse de gutta-percha est plus nette et est en contact avec la totalité des parois canalaires (du moins au grossissement observé) dans l'échantillon du groupe VC. Sur la coupe de l'échantillon du groupe MC, c'est le ciment qui est en contact avec les parois canalaires, la masse de gutta-percha n'est pas plaquée contre les parois canalaires, bien qu'on observe une déformation du cône.



Figure 62. Coupe à 9 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°284, appartenant au groupe MC.

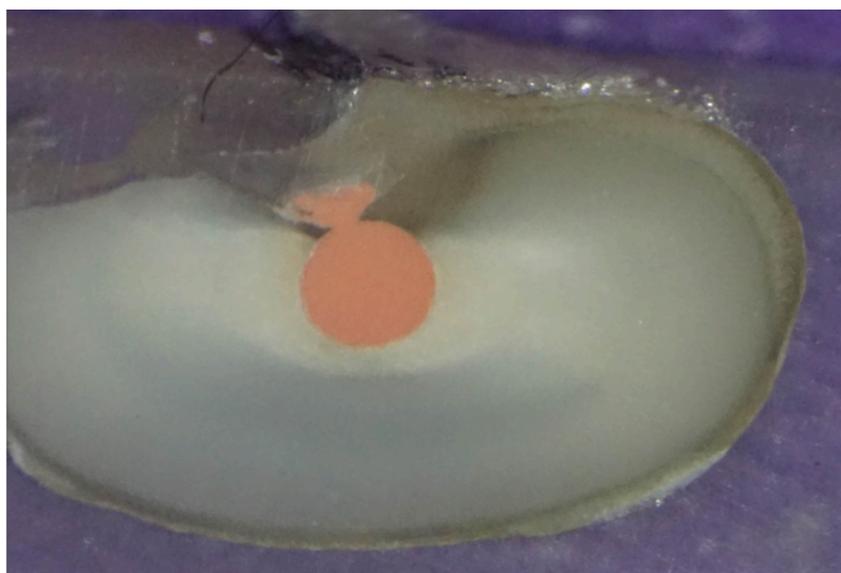


Figure 63. Coupe à 9 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°299, appartenant au groupe VC.

#### 4.1.2. Coupes à 5 mm de l'apex anatomique : tiers moyen

Au tiers moyen, en ce qui concerne le groupe VC, l'obturation présente 85,1% de gutta-percha, 14,9% de ciment. 1 seul échantillon (sur 10) présente un manque à ce niveau, et la moitié des échantillons présentent un cône déformé.

En ce qui concerne le groupe MC, 3 échantillons (sur 10) présentent une déformation du cône. 40% des échantillons présentent un manque à ce niveau. L'obturation, elle, est composée à 69,3% de gutta-percha, donc 30,7% de BioRoot RCS®.

Localisation	Ratio Gutta-percha/ciment en % ( $\sigma$ Ecart-type)	
	Technique Monocône	Technique Verticale à chaud
5 mm de l'apex anatomique	69,3 ( $\sigma$ =17,6)	85,1 ( $\sigma$ =11,0)

Figure 64. Tableau comparant les ratios obtenus, à 5 mm de l'apex anatomique, avec les deux techniques d'obturation.

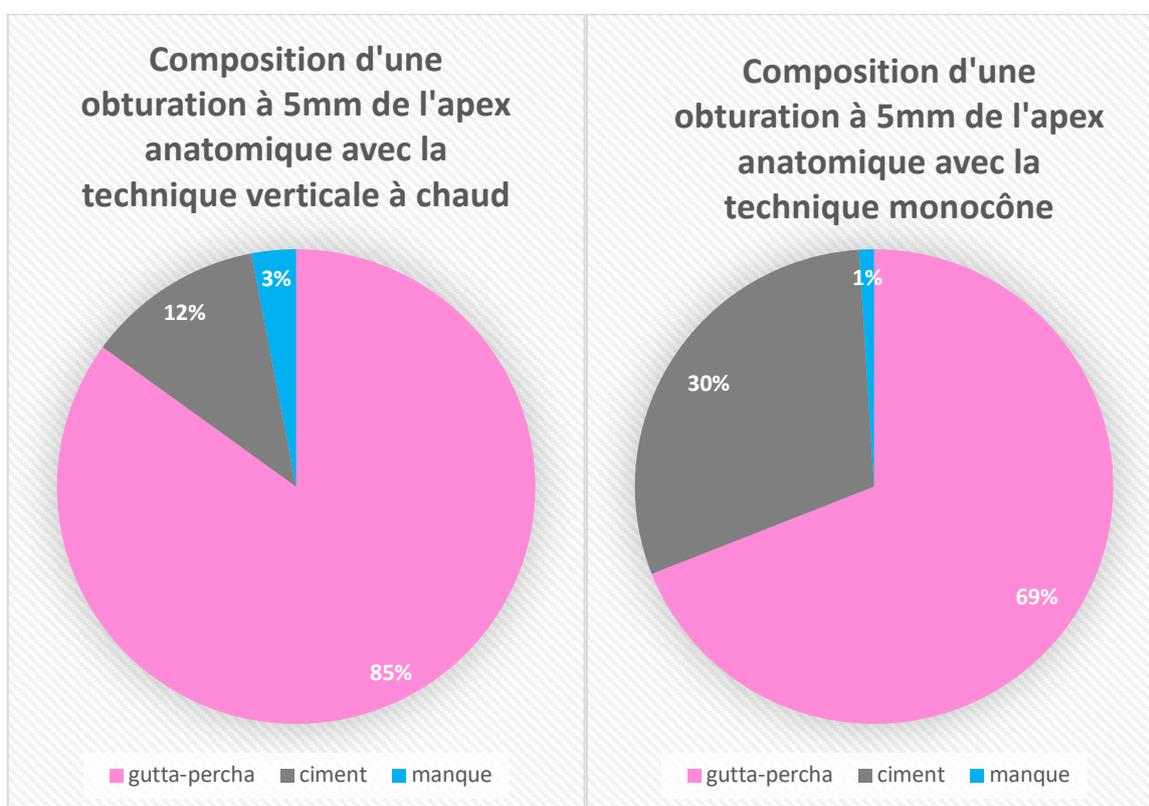
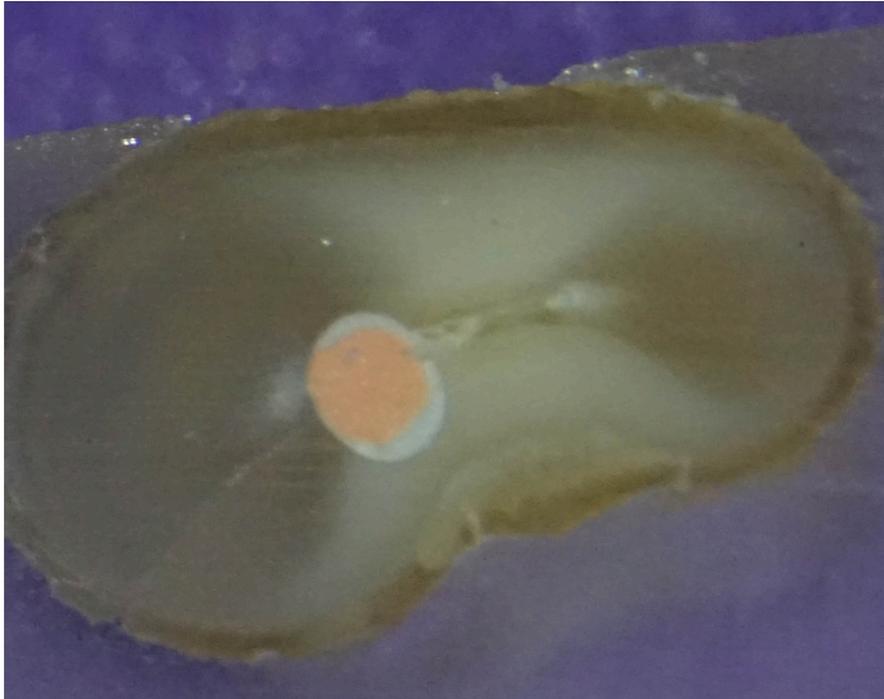


Figure 65. Détail de la composition moyenne d'une obturation à 5 mm de l'apex anatomique.

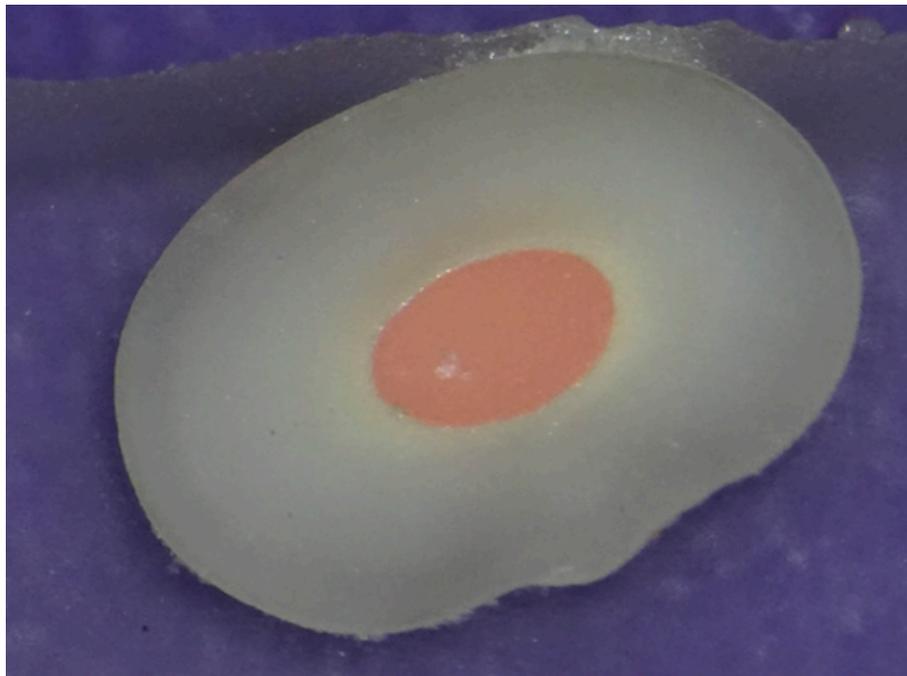
Sur les diagrammes représentant la composition de l'obturation à 5 et 9 mm de l'apex anatomique (fig.61 et fig.65), on peut constater visuellement que la proportion de ciment est plus importante au sein d'une obturation en technique monocône qu'au sein d'une obturation réalisée avec la technique verticale à chaud.

Voici deux photographies des coupes, illustrant les résultats énoncés :



*Figure 66. Coupe à 5 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°275, appartenant au groupe MC.*

Sur la photographie ci-dessus d'un échantillon du groupe MC (fig. 66), on distingue bien la couche de ciment entourant la gutta-percha, le cône est peu déformé, et environ moins d'un tiers du périmètre canalaire est au contact de la gutta-percha (à l'œil nu).



*Figure 67. Coupe à 5 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°314, appartenant au groupe VC.*

Sur la photographie ci-dessus d'un échantillon du groupe VC (fig.67), on constate que le cône de gutta-percha, initialement cylindro-conique, est déformé : la masse de gutta-percha a la forme ovale du canal radiculaire, la gutta-percha est au contact des parois canalaires et la couche de ciment est à peine visible.

#### 4.1.3. Coupes à 1 mm de l'apex anatomique : tiers apical

Les résultats présentés ci-après ne considèrent pas les coupes à 1 mm de l'apex anatomique des échantillons n°281 (groupe MC), n°287(groupe MC) et n°300 (groupe VC), sur lesquelles on ne peut distinguer ni gutta-percha ni ciment.



Figure 68. Photographie de la coupe à 1 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°281.

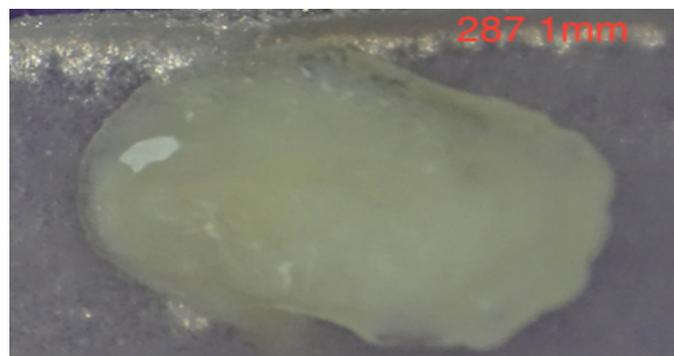


Figure 69. Photographie de la coupe à 1 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°287.



Figure 70. Photographie de la coupe à 1 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°300.

Pour les coupes du groupe VC, on constate que l'obturation est constituée de 70,1% de gutta-percha, soit près de 30% de ciment PCS® ; on repère un manque sur 2 coupes (sur 10), et 3 coupes présentent une déformation du cône.

Pour les coupes du groupe MC, l'obturation est constituée de 70,8% de gutta-percha, donc de près de 30% de ciment BioRoot RCS® ; un manque est présent sur 2 coupes et une déformation du cône est présente sur 50% des coupes.

Localisation	Ratio Gutta-percha/ciment en % (Ecart-type)	
	Technique Monocône	Technique Verticale à chaud
1 mm de l'apex anatomique	70,8 (13,2)	70,1 (21,2)

Figure 71. Tableau comparant les ratios obtenus, à 1 mm de l'apex anatomique, avec les deux techniques d'obturation.

Ces résultats sont présentés dans le diagramme figure 72 : on constate visuellement que les résultats sont quasiment identiques dans les deux diagrammes, les obturations ont sensiblement la même composition après l'une ou l'autre technique d'obturation.

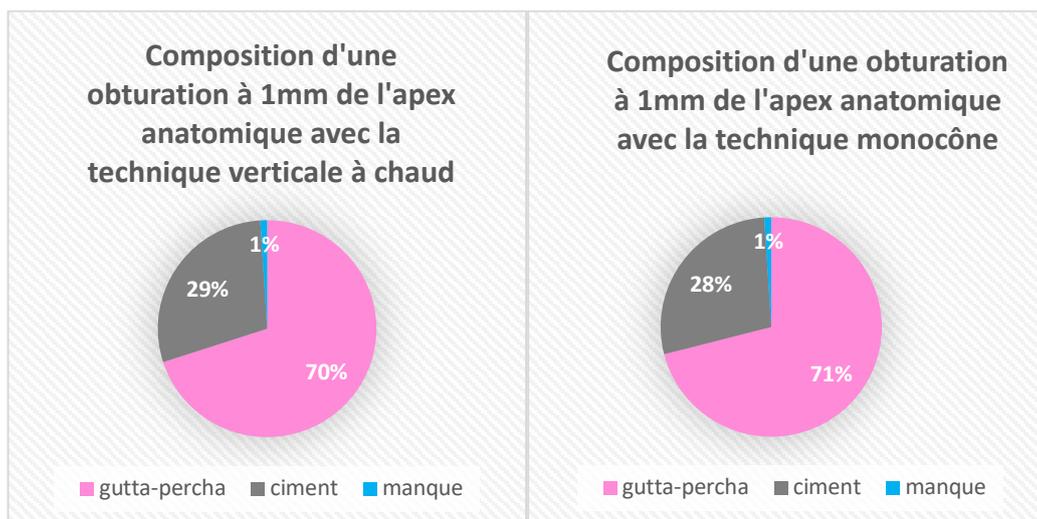


Figure 72. Détail de la composition moyenne d'une obturation à 1 mm de l'apex anatomique.

Voici deux photographies des coupes, illustrant les résultats énoncés :

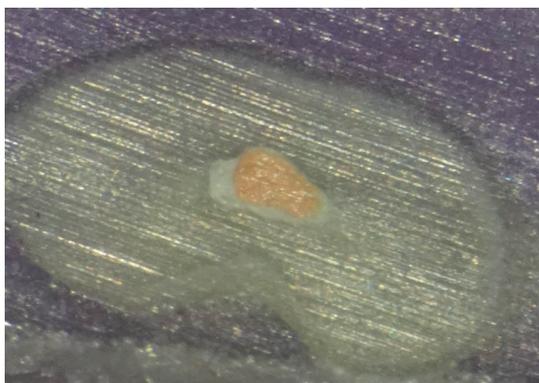


Figure 73. Coupe à 1 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°274(2), appartenant au groupe MC.

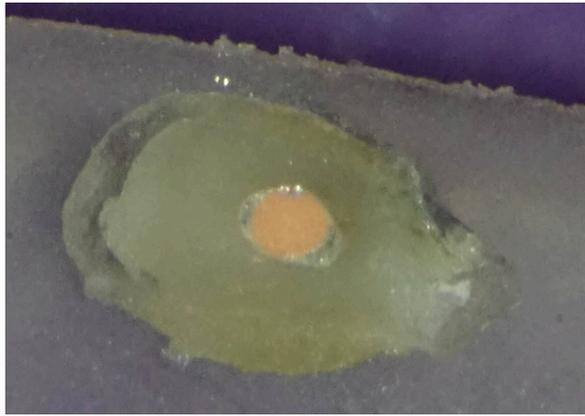


Figure 74. Coupe à 1 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°304, appartenant au groupe VC.

Sur les deux photographies ci-dessus, on peut voir que le ciment occupe l'espace entre la masse de gutta-percha et les parois canalaire.



Figure 75. Coupe à 1 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°313, appartenant au groupe VC.

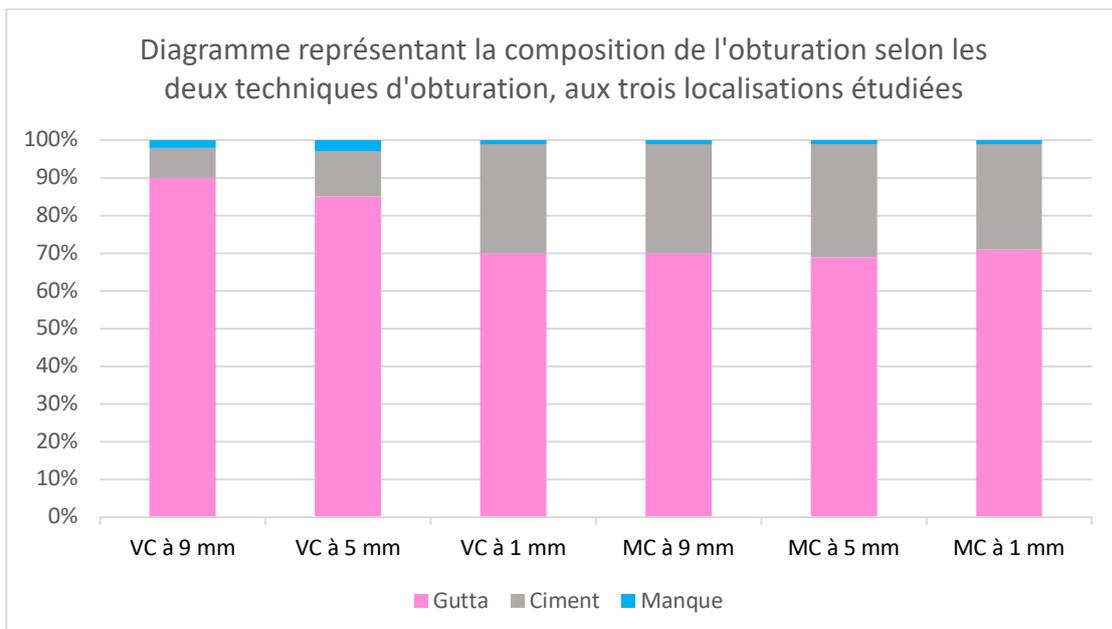


Figure 76. Diagramme représentant la composition de l'obturation selon les deux techniques d'obturation, aux trois localisations étudiées.

Le diagramme présenté ci-dessus permet de constater clairement que le ratio gutta-percha/ciment diminue en allant du tiers coronaire à l'apex pour l'obturation en technique verticale à chaud (présentée dans les 3 colonnes de gauche), alors que ce ratio reste plutôt stable pour la technique monocône (présentée dans les 3 colonnes de droite).

#### 4.1.4. Présence de bulles

Toutes localisations confondues, la présence de bulle est constatée sur 3 des 30 coupes du groupe VC, et sur 11 des 30 coupes du groupe MC.

La présence de bulle est moins fréquente au sein de l'obturation verticale à chaud qu'au sein de l'obturation monocône, que ce soit sur les coupes à 1 mm de l'apex anatomique (0 bulle pour le groupe VC, 4 pour le groupe MC), à 5 mm de l'apex anatomique (2 bulles pour le groupe VC, 5 pour le groupe MC) ou à 9 mm de l'apex anatomique (1 bulle pour le groupe VC, 4 bulles pour le groupe MC).

Les résultats obtenus sont résumés en pourcentage dans le tableau ci-dessous :

Localisation (par rapport à l'apex)	Nombre d'échantillon présentant des bulles (%)	
	Technique Monocône	Technique verticale à chaud
1 mm	20	0
5 mm	50	20
9 mm	40	10
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>10</b>

Figure 77. Tableau comparant les deux techniques sur la présence ou non de bulle au sein de l'obturation.

L'histogramme ci-dessous montre qu'on a constaté nettement moins de bulles au sein de l'obturation verticale à chaud qu'au sein de l'obturation monocône.

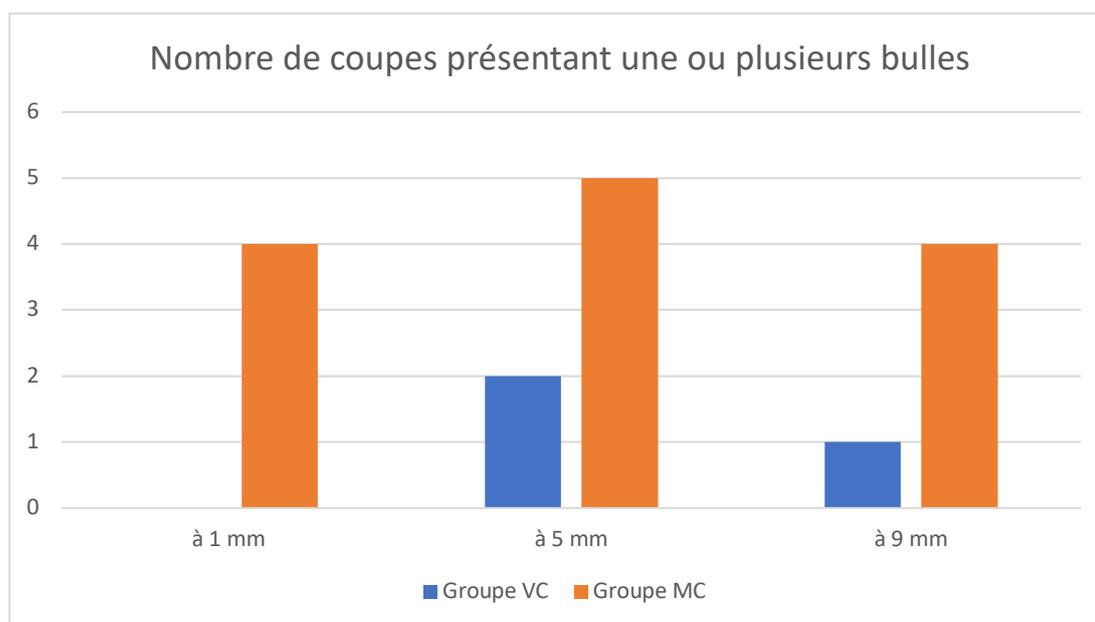


Figure 78. Histogramme permettant de comparer visuellement les deux groupes sur la quantité de coupes présentant une bulle au sein de l'obturation.

#### 4.1.5. Déformation du cône de gutta-percha

Dans les 2 groupes on retrouve la même fréquence de déformation du cône (14/30).

Localisation (par rapport à l'apex)	Nombre d'échantillon présentant une déformation du cône de gutta-percha (%)	
	Technique Monocône	Technique verticale à chaud
1 mm	50	30
5 mm	30	50
9 mm	60	60
<b>Total</b>	<b>46,7</b>	<b>46,7</b>

Figure 79. Tableau comparant les deux techniques sur le critère "déformation du cône de gutta-percha".

Pour les coupes à 1 mm de l'apex anatomique, on constate une déformation du cône plus fréquente au sein de la technique monocône (5 coupes contre 3 coupes au sein du groupe VC).

Cette tendance s'inverse pour les coupes à 5 mm de l'apex anatomique (3 coupes au sein du groupe MC contre 5 coupes au sein du groupe VC).

Pour les coupes à 9 mm de l'apex anatomique, on trouve le même nombre de déformation du cône pour les deux groupes (6 coupes sur 10 dans chaque groupe).

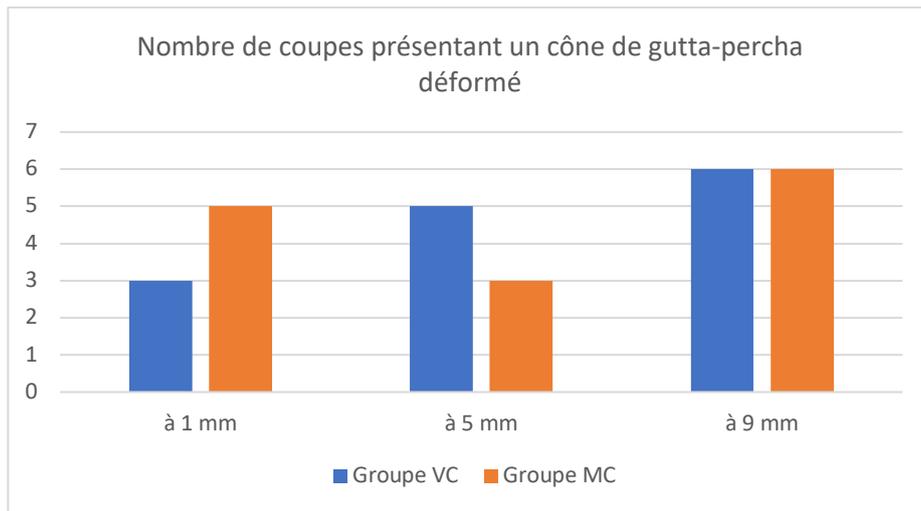


Figure 80. Histogramme permettant de comparer visuellement les deux groupes sur la quantité de coupes présentant un cône de gutta-percha déformé.

Sur les deux photographies présentées ci-dessous, les canaux sont en forme de ruban. On constate un meilleur étalement de la gutta-percha au sein d'un échantillon du groupe VC (fig. 73) qu'au sein d'un échantillon du groupe MC (fig. 72).

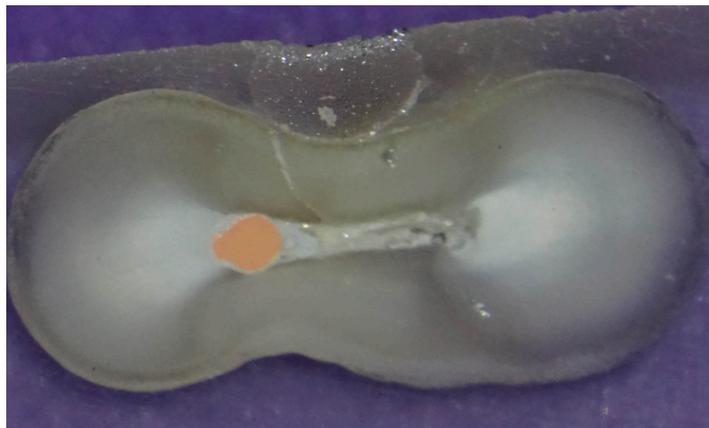


Figure 81. Coupe à 5 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°281, appartenant au groupe MC.



Figure 82. Coupe à 5 mm de l'apex anatomique de l'échantillon n°293, appartenant au groupe VC.

#### 4.1.6. Présence de manque d'obturation

La présence de manque est plus fréquemment observée au sein des obturations monocône qu'au sein des obturations en technique de condensation verticale à chaud (de 9 à 5 coupes sur 30).

Au sein des coupes à 1 mm de l'apex anatomique, 1 seul échantillon du groupe MC présente un manque, contre 2 échantillons du groupe VC.

Sur les coupes à 5 mm de l'apex anatomique, 4 échantillons du groupe MC et 1 échantillon du groupe VC présentent des manques,

Sur les coupes à 9 mm de l'apex anatomique, 4 échantillons du groupe MC et 2 échantillons du groupe VC présentent des manques.

Localisation (par rapport à l'apex)	Nombre d'échantillon présentant un ou plusieurs manques au sein de l'obturation (%)	
	Technique Monocône	Technique verticale à chaud
1 mm	10	20
5 mm	40	10
9 mm	40	20
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>16,7</b>

Figure 83. Tableau résumant les résultats obtenus sur la présence de manque au sein de l'obturation.

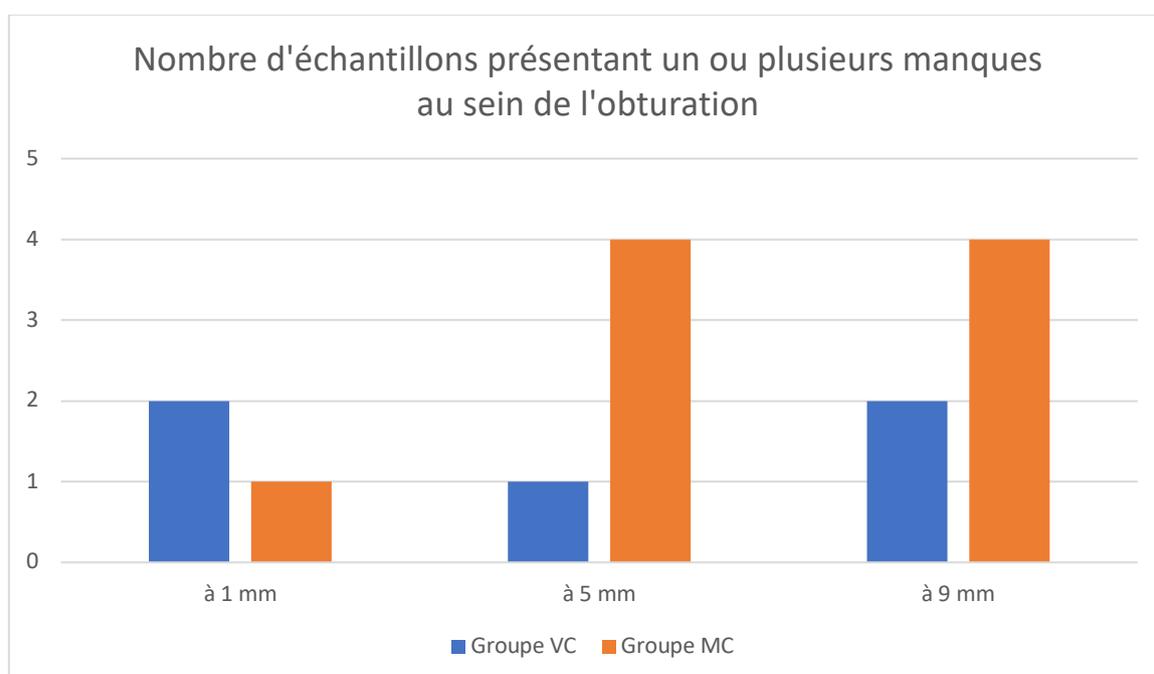


Figure 84. Histogramme permettant de comparer visuellement les deux groupes sur la quantité de coupes présentant un manque au sein de l'obturation.

## 5 DISCUSSION

### 5.1. Ratio moyen gutta-percha/ciment

L'obturation par condensation verticale à chaud est en moyenne constituée de 5/6 de gutta-percha, et 1/6 de ciment : seule une petite quantité de ciment PCS® est finalement présente dans l'endodonte, et donc nécessaire. Ceci est en accord avec les données acquises de la littérature, notamment avec ce qu'écrit Schilder dès 1967 (comme cité précédemment) (Schilder 1967).

L'obturation par technique monocône est en moyenne constituée de 4/6 (2/3) de gutta-percha et 1/3 de ciment : la proportion de ciment est ici près de 2 fois plus élevée que pour l'obturation VC.

### 5.2. Déformation du cône

Dans les deux groupes, on utilise un maître cône de gutta-percha cylindro-conique (standardisé, de la gamme WaveOne Gold®) pour obturer un canal ovale. A 5 mm et à 9 mm de l'apex anatomique, les dents du groupe VC ont subi une condensation de la gutta-percha, la gutta-percha occupe alors plus d'espace au sein du canal : le ratio gutta-percha/ciment est alors plus élevé dans le groupe VC que dans le groupe MC.

Cependant, on relève la même quantité de coupes présentant un cône déformé dans les 2 groupes, alors qu'on aurait pu s'attendre à ce que la technique VC ait entraîné plus de déformation, d'étalement au sein du canal.

Ces résultats ne permettent donc pas d'affirmer que la technique VC entraîne un meilleur étalement et une meilleure répartition de la gutta-percha contre les parois canalaires et au sein l'endodonte.

### 5.3. Manques et Bulles

Toutes localisations confondues, on observe en moyenne près de 2 fois plus fréquemment un manque et près de 4 fois plus fréquemment une bulle, au sein de l'obturation en

technique monocône qu'au sein de l'obturation en technique de condensation verticale à chaud de Buchanan.

La technique monocône est simple à mettre en œuvre, mais le remplissage adéquat de l'endodonte par le ciment reste difficile à contrôler. Le manque de maîtrise du praticien réalisant une telle obturation pourrait être à l'origine de manques et de bulles, comme ceux constatés sur les coupes, qui pourraient représenter une faiblesse pour l'obturation en compromettant sa densité. Ainsi, cette technique utilisée avec un ciment biocéramique, pourrait nécessiter une courbe d'apprentissage, sensiblement plus longue que ce à quoi on pourrait s'attendre afin que le praticien puisse obtenir une obturation de qualité, de façon reproductible.

#### **5.4. Coupes à 9 mm de l'apex anatomique**

Le résultat de l'observation des coupes à 9 mm de l'apex anatomique, au niveau du tiers coronaire, montre un ratio gutta-percha/ciment plus élevé dans le groupe VC que dans le groupe MC, malgré la réalisation d'un bouchon coronaire.

Dans le groupe VC la quantité de ciment à ce niveau est relativement faible (à peine 10% de la surface totale de l'obturation) ; cela s'explique par le fait que la gutta-percha y est injectée chauffée dans le canal, puis condensée.

#### **5.5. Coupes à 5 mm de l'apex anatomique**

Au niveau du tiers médian, le ratio gutta-percha/ciment est différent.

Rappelons que pour l'obturation du groupe VC, le fouloir/réchauffeur pénètre à la longueur de travail moins 5 mm, soit à 5 mm de l'apex anatomique. Ainsi, sur ces coupes on observe une obturation au sein de laquelle on a condensé la gutta-percha réchauffée ; les résultats suivent alors la logique puisqu'on observe un ratio gutta-percha/ciment plus élevé pour les coupes du groupe VC (85,1% de GP) que pour celles du groupe MC (69,3% de GP), qui ne subissent pas de condensation à ce niveau puisque la gutta-percha est un mauvais conducteur thermique.

## 5.6. Coupes à 1 mm de l'apex anatomique : qualité du scellement apical

L'observation des coupes à 1 mm de l'apex anatomique nous montre sensiblement le même ratio gutta-percha/ciment que ce soit en utilisant la technique de condensation verticale à chaud de Buchanan, ou en utilisant la technique monocône. Autrement dit, à l'extrémité apicale du canal ovale, la proportion de ciment présent, occupant l'espace entre le maître cône cylindro-conique et les parois canalaires, est relativement la même quelle que soit la technique utilisée (30%).

On pourrait conclure qu'il n'y a pas de prévalence d'une des deux techniques par rapport à l'autre en ce qui concerne la proportion de gutta-percha au sein de l'obturation à l'extrémité apicale du canal.

En effet, lorsqu'on utilise une technique de condensation verticale à chaud, il reste impossible de compacter la gutta-percha sur les derniers millimètres apicaux.

En d'autres termes, au niveau apical, l'obturation obtenue après avoir utilisé une technique verticale à chaud est comparable à celle obtenue après une obturation avec la technique monocône.

Rappelons que l'étanchéité apicale est un critère essentiel de la qualité d'une obturation endodontique.

Or, d'un côté le PCS<sup>®</sup>, qui occupe près de 30% de l'espace endodontique à l'extrémité apicale du canal des dents du groupe VC, présente une rétraction de prise ainsi qu'une solubilité dans le temps.

De l'autre côté, un ciment biocéramique tel que le BioRoot RCS<sup>®</sup> présente une stabilité dimensionnelle et une biocompatibilité, préférables à la résorbabilité du PCS<sup>®</sup>.

A priori la qualité de l'obturation apicale réalisée avec la technique de Buchanan s'apparente à celle d'une technique monocône. Compte tenu des propriétés physico-chimiques des deux ciments utilisés, il semble nettement préférable que la partie apicale soit obturée avec un ciment biocéramique, plutôt qu'avec un ciment ZOE.

Aussi, bien que le ratio gutta-percha/ciment soit moindre dans le groupe MC au niveau des coupes à 5 mm et 9 mm de l'apex anatomique, ceci ne représente pas pour autant une faiblesse dans l'obturation, si l'on considère les qualités de bioactivité et de stabilité dimensionnelle du BioRoot RCS®.

Etant donné que l'on peut considérer que l'ensemble Bioroot RCS®+ gutta-percha constitue l'obturation à part entière, il semble alors préférable que le canal soit obturé avec cette combinaison de matériaux plutôt qu'avec la combinaison ciment ZOE+ gutta-percha dans laquelle le ciment ZOE ne peut être considéré comme un véritable matériau d'obturation mais uniquement comme un moyen de scellement, amené à se dégrader avec le temps.

D'ailleurs, si l'on considère le BioRoot RCS® comme obturant à part entière, on retient alors seulement 1% de manque en moyenne au sein de la lumière canalaire.

### **5.7. Les points forts et les points faibles de l'étude**

Afin de réaliser une étude la plus représentative de la réalité clinique, un protocole expérimental rigoureux a été suivi, en accord avec la pratique actuelle.

Tout d'abord, en ce qui concerne la sélection des échantillons : l'étude est réalisée sur des dents naturelles, et non pas sur des simulateurs, afin de se rapprocher de la réalité clinique. Il est important de souligner que seuls des canaux ovales ont été sélectionnés, à la différence de ce qu'avait fait Wu dans son étude en sélectionnant des canaux coniques. Ceci est plus représentatif du challenge de l'obturation dans la réalité clinique.

La mise en forme canalaire des 20 racines est *standardisée* ; l'utilisation d'un instrument unique de mise en forme est d'une part représentative de ce que recherchent de plus en plus de praticiens afin de simplifier cette étape du traitement endodontique et d'autre part permet de réduire les biais liés au geste du praticien.

La répartition des échantillons en 2 groupes est faite de façon *aléatoire*.

De plus, les obturations sont réalisées sous microscope, ce qui permet de réaliser un traitement endodontique plus minutieux, et notamment d'avoir un meilleur contrôle sur la technique verticale à chaud.

En outre, afin d'améliorer encore la pertinence des résultats de notre étude, les échantillons obturés sont placés en incubateur en milieu humide à 37°C pendant 4 jours. Cela permet de prendre en compte la bioactivité des ciments biocéramiques, puisque l'obturation avec ces derniers se bonifie avec le temps.

Cependant, l'analyse des résultats obtenus reste subjective et présente infailliblement un biais d'interprétation.

Le fait de couper les dents à la jonction amélo-cémentaire permet de standardiser la procédure, car il n'y a pas d'obstacle coronaire à l'accès à l'endodonte. Cependant, ceci amène à réaliser l'étude dans des conditions de mise en forme et d'obturation idéales, et idéalisées par rapport à la réalité clinique.

Par ailleurs, pour l'obturation des racines du groupe VC, il a été possible dans l'ensemble des cas d'amener le fouloir fin à 5 mm de l'apex anatomique, ce qui ne reflète pas forcément la réalité clinique. En effet, lorsque le canal présente une courbure importante, il est impossible de descendre le fouloir au-delà de cette courbure car celui-ci est trop rigide. Il est probable que les ratios gutta-percha/ciment des groupes VC obtenus aux coupes à 1 mm et à 5 mm de l'apex anatomique soient alors plus élevés que ce qu'on obtient cliniquement.

Autrement dit, il est probable qu'en réalité après une obturation en technique verticale à chaud en une vague de Buchanan on observe une moins bonne adaptation du cône de gutta-percha sur une plus grande distance en partant du foramen.

De plus, les échantillons ont été sélectionnés parmi des racines selon un critère : la forme ovale du canal radiculaire. Or ce critère a été « vérifié » par une simple radiographie en 2 dimensions ; l'idéal aurait été de réaliser une imagerie tomographique voire, micro-tomographique pour être sûr de la section des canaux sélectionnés.

Il a été énoncé précédemment que l'observation de déformation du cône est aussi fréquente dans le groupe VC que dans le groupe MC, alors qu'on aurait pu penser que la technique VC aurait entraîné plus de déformation du cône.

Ces résultats peuvent s'expliquer par la réalisation du polissage : bien qu'il ait été réalisé avec un papier de verre à grains très fins (2400 Micro-Mesh), à faible vitesse et sous irrigation froide constante, pendant environ 20 secondes par coupe, il a tout de même pu provoquer un échauffement et donc un étalement de la gutta-percha ; ainsi le canal paraît mieux obturé au microscope optique, qu'il ne l'était initialement avant le polissage.

De plus, il a été observé plus de déformation en technique MC qu'en technique VC sur les coupes à 1 mm (5/10 contre 3/10). On peut considérer la possibilité que la coupe ait été réalisée selon un axe pas tout à fait perpendiculaire à l'axe de la racine, puisqu'il a été tracé à main levée ; ce qui fait que même un cône non déformé en réalité, toujours cylindro-conique après l'obturation, apparaît déformé sur la coupe.

## 6 CONCLUSION

Cette étude avait pour but de reconsidérer la qualité d'une obturation radiculaire réalisée avec la technique monocône associée à un ciment biocéramique, en la comparant avec l'une des techniques de référence : la condensation verticale à chaud en vagues multiples, associée à un ciment oxyde de zinc/eugénol.

Les résultats ont montré sans surprise que dans l'ensemble, le ratio gutta-percha/ciment est supérieur avec la technique de condensation verticale à chaud par rapport à la technique monocône. Cependant, l'espace occupé par le ciment ne peut pas être considéré de la même façon dans les deux techniques. En effet, dans la technique de gutta chaude, le ciment permet uniquement l'adhésion de la gutta-percha aux parois canalaires. Comme il est résorbable, il doit être présent en épaisseur la plus fine possible. En revanche, dans la technique monocône, le ciment biocéramique est le matériau d'obturation à part entière. Comme il est stable dans le temps et ne se résorbe pas, le retrouver en plus grande quantité dans l'obturation n'est pas un problème et ne représente en aucun cas une faiblesse de celle-ci.

Il a été plus étonnant de constater qu'au niveau apical, le ratio gutta-percha/ciment calculé est identique dans les 2 groupes. Autrement dit, ces deux techniques aboutissent à une obturation de type monocône au niveau apical. L'obturation apicale est ainsi constituée d'environ un tiers de ciment, une proportion qui est loin d'être négligeable. Pour la technique de gutta chaude, on est donc loin de l'épaisseur de ciment « la plus fine possible » recommandée. Le problème étant donné que le ciment est résorbable, c'est que l'espace qu'il occupe représente potentiellement une faille dans l'obturation à plus ou moins long terme. Alors que les techniques de gutta chaude représentent encore le « gold standard » pour l'obturation canalaire, il est possible que cette affirmation soit remise en question au vu des résultats de cette étude. Car si l'objectif de la technique de condensation verticale en vague multiple est de plaquer au maximum la gutta-percha contre les parois canalaires, au niveau apical, il n'est clairement pas rempli. Quitte à obturer la partie apicale du canal en technique monocône, autant que ce soit avec un matériau qui ne se résorbe pas dans le temps.

On est donc en droit de se demander s'il n'est pas préférable d'utiliser une technique monocône associée à un ciment biocéramique, à une technique de condensation verticale à chaud pour l'obturation de canaux non cylindriques.

Néanmoins, les coupes des obturations réalisées avec la technique monocône ont présenté plus fréquemment des bulles et des manques au sein de l'obturation, notamment dans les parties plus coronaires. Des études supplémentaires pourraient être conduites afin d'améliorer l'efficacité de la technique monocône couplée à un ciment biocéramique. Il serait souhaitable de trouver un moyen de diminuer la fréquence des manques et des bulles lors de l'utilisation de cette technique. Cela pourrait se faire en explorant davantage les conditions idéales de mise en place du ciment et éventuellement son activation ou le degré d'humidité canalaire avant obturation.

## 7 BIBLIOGRAPHIE

- Amoroso-Silva PA, Guimarães BM, Marciano MA, Duarte MAH, Cavenago BC, Ordinola-Zapata R, et al. Microscopic analysis of the quality of obturation and physical properties of MTA Fillapex. *Microsc Res Tech.* déc 2014;77(12):1031-6.
- Atmeh AR, Chong EZ, Richard G, Festy F, Watson TF. Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates. *J Dent Res.* mai 2012;91(5):454-9.
- Brave AD. A review of bioceramic technology in endodontics. *Roots.* 2012;4:6-12.
- Camilleri J. Sealers and warm gutta-percha obturation techniques. *J Endod.* janv 2015;41(1):72-8.
- Camilleri J, Montesin FE, Di Silvio L, Pitt Ford TR. The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. *Int Endod J.* nov 2005;38(11):834-42.
- Camilleri J, Pitt Ford TR. Mineral trioxide aggregate: a review of the constituents and biological properties of the material. *Int Endod J.* oct 2006;39(10):747-54.
- Camps J, Jeanneau C, El Ayachi I, Laurent P, About I. Bioactivity of a Calcium Silicate-based Endodontic Cement (BioRoot RCS): Interactions with Human Periodontal Ligament Cells In Vitro. *J Endod.* sept 2015;41(9):1469-73.
- D. Martin, S. Simon, P. Machtou. Irrigation en endodontie. *Dossiers de l'ADF.* 2012;
- Economides N, Koulaouzidou EA, Gogos C, Kolokouris I, Beltes P, Antoniadis D. Comparative study of the cytotoxic effect of Resilon against two cell lines. *Braz Dent J.* 2008;19(4):291-5.
- Ersahan S, Aydin C. Solubility and apical sealing characteristics of a new calcium silicate-based root canal sealer in comparison to calcium hydroxide-, methacrylate resin- and epoxy resin-based sealers. *Acta Odontol Scand.* juill 2013;71(3-4):857-62.
- European Society of Endodontology. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J.* déc 2006;39(12):921-30.
- Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP. Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment. *J Endod.* déc 2003;29(12):787-93.
- Gandolfi MG, Taddei P, Modena E, Siboni F, Prati C. Biointeractivity-related versus chemi/physisorption-related apatite precursor-forming ability of current root end filling materials. *J Biomed Mater Res Part B Appl Biomater.* oct 2013;101(7):1107-23.
- Gatewood RS. Endodontic materials. *Dent Clin North Am.* juill 2007;51(3):695-712, vii.

- Gencoglu N, Helvacioğlu D, Gundogar M. Effect of Six Obturation Techniques on Filling of Lateral Canals. *Journal of Research and Practice in Dentistry*. 3 févr 2014;1-7.
- Grossman LI, Oliet S, Del Rio CE. *Endodontic practice*. Philadelphia, Etats-Unis d'Amérique: Lea & Febiger; 1988.
- Grossman's Endodontic Practice - 13th edition (PDF Download Available) [Internet]. ResearchGate. [cité 26 juin 2017]. Disponible sur: [https://www.researchgate.net/publication/265088248\\_Grossman's\\_Endodontic\\_Practice\\_-\\_13th\\_edition](https://www.researchgate.net/publication/265088248_Grossman's_Endodontic_Practice_-_13th_edition).
- Hess D, Solomon E, Spears R, He J. Retreatability of a bioceramic root canal sealing material. *J Endod*. nov 2011;37(11):1547-9.
- Ho Y-C, Huang F-M, Chang Y-C. Mechanisms of cytotoxicity of eugenol in human osteoblastic cells in vitro. *Int Endod J*. mai 2006;39(5):389-93.
- Holland GR. A histological comparison of periapical inflammatory and neural responses to two endodontic sealers in the ferret. *Arch Oral Biol*. juill 1994;39(7):539-44.
- Holland R, de Souza V, Nery MJ, Otoboni Filho JA, Bernabé PF, Dezan Júnior E. Reaction of dogs' teeth to root canal filling with mineral trioxide aggregate or a glass ionomer sealer. *J Endod*. nov 1999;25(11):728-30.
- Hotta M, Li Y, Sekine I. Mineralization in bovine dentin adjacent to glass-ionomer restorations. *J Dent*. mars 2001a;29(3):211-5.
- Hotta M, Li Y, Sekine I. Mineralization in bovine dentin adjacent to glass-ionomer restorations. *J Dent*. mars 2001b;29(3):211-5.
- Ilić DV. The flow of two zinc oxide-eugenol-based endodontic sealers. *Vojnosanit Pregl*. janv 2013;70(1):21-5.
- Jafari F, Jafari S, Etesamnia P. Genotoxicity, Bioactivity and Clinical Properties of Calcium Silicate Based Sealers: A Literature Review. *Iran Endod J*. 2017;12(4):407-13.
- Khalil I, Naaman A, Camilleri J. Properties of Tricalcium Silicate Sealers. *J Endod*. oct 2016;42(10):1529-35.
- Kontakiotis EG, Wu MK, Wesselink PR. Effect of sealer thickness on long-term sealing ability: a 2-year follow-up study. *Int Endod J*. sept 1997;30(5):307-12.
- Lee Y-Y, Yang S-F, Ho W-H, Lee Y-H, Hung S-L. Eugenol modulates cyclooxygenase-2 expression through the activation of nuclear factor kappa B in human osteoblasts. *J Endod*. oct 2007;33(10):1177-82.
- Marciano MA, Duarte MAH, Camilleri J. Calcium silicate-based sealers: Assessment of physicochemical properties, porosity and hydration. *Dent Mater*. févr 2016;32(2):e30-40.

- Mohammadi Z, Shalavi S, Jafarzadeh H. The oval shaped, root canal: A clinical review. *South African Dental Journal*. juin 2015;70(5):200-4.
- Ng Y-L, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health. *Int Endod J*. juill 2011;44(7):583-609.
- Orstavik D. Time-course and risk analyses of the development and healing of chronic apical periodontitis in man. *Int Endod J*. mai 1996;29(3):150-5.
- Ørstavik D. Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing. *Endodontic Topics*. 1 nov 2005;12(1):25-38.
- Patel N, Best SM, Bonfield W, Gibson IR, Hing KA, Damien E, et al. A comparative study on the in vivo behavior of hydroxyapatite and silicon substituted hydroxyapatite granules. *J Mater Sci Mater Med*. déc 2002;13(12):1199-206.
- Prüllage R-K, Urban K, Schäfer E, Dammaschke T. Material Properties of a Tricalcium Silicate-containing, a Mineral Trioxide Aggregate-containing, and an Epoxy Resin-based Root Canal Sealer. *J Endod*. déc 2016;42(12):1784-8.
- Saito T, Toyooka H, Ito S, Crenshaw MA. In vitro study of remineralization of dentin: effects of ions on mineral induction by decalcified dentin matrix. *Caries Res*. déc 2003;37(6):445-9.
- Sarkar NK, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *J Endod*. févr 2005;31(2):97-100.
- Schilder H. Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am*. nov 1967;723-44.
- Siboni F, Taddei P, Zamparini F, Prati C, Gandolfi MG. Properties of BioRoot RCS, a tricalcium silicate endodontic sealer modified with povidone and polycarboxylate. *Int Endod J*. déc 2017;50 Suppl 2:e120-36.
- Silva EJNL, Rosa TP, Herrera DR, Jacinto RC, Gomes BPFA, Zaia AA. Evaluation of cytotoxicity and physicochemical properties of calcium silicate-based endodontic sealer MTA Fillapex. *J Endod*. févr 2013;39(2):274-7.
- Stephane SIMON, Pierre MACHTOU, Wilhelm-Joseph PERTOT. *Endodontie*. CDP; 2012.
- Tay FR, Pashley DH, Rueggeberg FA, Loushine RJ, Weller RN. Calcium phosphate phase transformation produced by the interaction of the portland cement component of white mineral trioxide aggregate with a phosphate-containing fluid. *J Endod*. nov 2007;33(11):1347-51.
- Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod*. mars 1999;25(3):197-205.

- Viapiana R, Baluci CA, Tanomaru-Filho M, Camilleri J. Investigation of chemical changes in sealers during application of the warm vertical compaction technique. *Int Endod J.* janv 2015;48(1):16-27.
- Viapiana R, Guerreiro-Tanomaru J, Tanomaru-Filho M, Camilleri J. Interface of dentine to root canal sealers. *J Dent. mars 2014a;42(3):336-50.*
- Viapiana R, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M, Camilleri J. Investigation of the effect of sealer use on the heat generated at the external root surface during root canal obturation using warm vertical compaction technique with System B heat source. *J Endod. avr 2014b;40(4):555-61.*
- Viapiana R, Moizadeh AT, Camilleri L, Wesselink PR, Tanomaru Filho M, Camilleri J. Porosity and sealing ability of root fillings with gutta-percha and BioRoot RCS or AH Plus sealers. Evaluation by three ex vivo methods. *Int Endod J.* août 2016a;49(8):774-82.
- Viapiana R, Moizadeh AT, Camilleri L, Wesselink PR, Tanomaru Filho M, Camilleri J. Porosity and sealing ability of root fillings with gutta-percha and BioRoot RCS or AH Plus sealers. Evaluation by three ex vivo methods. *Int Endod J.* août 2016b;49(8):774-82.
- Whitworth J. Methods of filling root canals: principles and practices. *Endodontic Topics.* 1 nov 2005;12(1):2-24.
- Willershausen I, Callaway A, Briseño B, Willershausen B. In vitro analysis of the cytotoxicity and the antimicrobial effect of four endodontic sealers. *Head Face Med.* 10 août 2011;7:15.
- Williamson AE, Dawson DV, Drake DR, Walton RE, Rivera EM. Effect of root canal filling/sealer systems on apical endotoxin penetration: a coronal leakage evaluation. *J Endod.* août 2005;31(8):599-604.
- Wu MK, Ozok AR, Wesselink PR. Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. *Int Endod J.* juill 2000a;33(4):340-5.
- Wu MK, R'oris A, Barkis D, Wesselink PR. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* juin 2000b;89(6):739-43.
- Xuereb M, Vella P, Damidot D, Sammut CV, Camilleri J. In situ assessment of the setting of tricalcium silicate-based sealers using a dentin pressure model. *J Endod.* janv 2015;41(1):111-24.

## **8 ANNEXES**

Tableau 1. Résultats obtenus pour le groupe MC, obturation avec la technique monocône avec du BioRoot RCS®.

Numéro de l'échantillon	Niveau de la coupe (en mm, à partir du foramen)	Aire de gutta (en pixels) S1	Aire de l'obturation (en pixels) S2	Pourcentage de Gutta (S1/S2 en %)	Déformation du cône de gutta	Présence de bulle	Présence de manque	Aire du manque m (en pixels)	% de manque sur l'aire canalaire (m/(m+S2)*100
274 (1)	1	13775	28351	48,6	1	0	0		0
	5	76747	163709	46,9	1	1	0		0
	9	65252	189329	34,5	1	1	0		0
274 (2)	1	27658	41590	66,5	1	0	0		0
	5	37569	51006	73,7	1	0	0		0
	9	155664	219869	70,8	1	0	0		0,0
275	1	22707	28964	78,4	1	0	0		0
	5	55080	77443	71,1	0	1	1	1504	1,9
	9	59062	97686	60,5	0	1	0		0
278	1	19241	33446	58,3	1	0	0		0
	5	54213	71775	78,3	0	0	0		0
	9	60157	82841	72,6	0	0	0		0
281	1	0	11223	0,0	0	0	0		0,0
	5	44838	151716	29,6	0	1	0		0
	9	95261	181824	52,4	1	1	1	12738	6,5
283	1	14893	17913	83,1	0	1	1	2757	13,3
	5	113024	149044	75,8	0	1	0		0
	9	127751	176191	72,5	1	1	0		0,0
284	1	37247	50900	73,2	1	0	0		0,0
	5	136848	196008	69,8	1	1	0		0,0
	9	151770	215166	70,5	1	0	0		0
287	1	0	17043	0,0	0	0	0		0
	5	70923	91689	77,4	0	0	1	1441	1,5
	9	75630	91400	82,7	0	0	1	2049	2,2
288	1	35470	39891	88,9	0	0	0		0,0
	5	46646	54275	85,9	0	0	1	3747	6,5
	9	165648	173711	95,4	1	0	1	5424	3,0
289(2)	1	19998	28904	69,2	0	1	0		0,0
	5	23572	28020	84,1	0	0	1	431	1,5
	9	206452	231982	89,0	0	0	1	5232	2,2
<b>Moyenne en %</b>				<b>65,3</b>					<b>1,3</b>
<b>Ecart-type</b>				<b>23,5</b>					
<b>moyenne</b>	1		56,6 dont deux 0/ sinon 71						
	5			69,3					
	9			70,1					
<b>nombre de oui (1)</b>					14	11	9		

Tableau 2. Résultats obtenus pour le groupe VC, obturation avec la technique verticale à chaud avec du Pulp Canal Sealer ®.

Numéro de l'échantillon	Niveau de la coupe (en mm, à partir du foramen)	Aire de gutta (en pixels) S1	Aire de l'obturation (en pixels) S2	Pourcentage de Gutta (S1/S2 en %)	Déformation du cône de gutta	Présence de bulle	Présence de manque	Aire du manque m (en pixels)	% de manque sur l'aire canalaire (m/(m+S2)*100)
291 (1)	1	14675	22018	66,7	1	0	0		0
	5	51574	70564	73,1	0	0	0		0
	9	95842	120102	79,8	1	0	0		0,0
292	1	17314	20392	84,9	0	0	0		0
	5	48447	54752	88,5	1	0	0		0
	9	96986	100059	96,9	0	0	0		0
293	1	32351	103276	31,3	0	0	1	11595	10,1
	5	86353	105265	82,0	1	1	1	47705	31,2
	9	115476	119539	96,6	1	0	0		0
299	1	18466	20195	91,4	0	0	0		0
	5	52767	70108	75,3	0	0	0		0
	9	125732	135311	92,9	1	1	0		0
300	1	0	0	INEXPLOITABLE	0	0	1	9907	100,0
	5	154551	165612	93,3	0	0	0		0
	9	478296	650779	73,5	1	0	1	150030	18,7
303	1	20052	26995	74,3	0	0	0		0
	5	57026	62000	92,0	0	1	0		0
	9	121685	138858	87,6	0	0	0		0
304	1	17993	26550	67,8	1	0	0		0
	5	21902	33790	64,8	1	0	0		0
	9	116656	126355	92,3	0	0	0		0
305	1	24500	30660	79,9	0	0	0		0
	5	63620	65163	97,6	0	0	0		0
	9	108866	108900	100,0	0	0	0		0
313	1	14237	33677	42,3	0	0	0		0,0
	5	111372	126786	87,8	1	0	0		0
	9	193541	223316	86,7	1	0	1	10226	4,6
314	1	86412	93541	92,4	1	0	0		0
	5	204464	212154	96,4	1	0	0		0,0
	9	206632	211053	97,9	1	0	0		0
Moyenne (en %)				<b>83,9</b>					<b>5,5</b>
Ecart-type				<b>16,3</b>					
moyenne	1			70,1					
	5			85,1					
	9			90,4					
nombre de oui (1)					14	3	5		

Tableau 3. Moyennes des résultats obtenus des différents critères évalués, dans les 2 groupes VC et MC.

Critère	Localisation (distance de l'apex anatomique)	Groupe VC (moyenne)	Groupe MC (moyenne)
<b>Ratio gutta-percha/ciment + gutta-percha</b>	Toutes	83,9%	65,3%
	1mm	70,1%	56,6%
	5mm	85,1%	69,3%
	9mm	90,4%	70,1%
<b>Déformation du cône de gutta-percha</b>	Toutes	46,7%	46,7%
	1mm	30%	50%
	5mm	50%	30%
	9mm	60%	60%
<b>Présence de manque d'obturation</b>	Toutes	16,7%	30,0%
	1mm	20%	10%
	5mm	10%	40%
	9mm	20%	40%
<b>Présence de bulle</b>	Toutes	10%	30%
	1mm	0%	20%
	5mm	20%	50%
	9mm	10%	40%
<b>Aire du manque d'obturation sur l'aire canalaire</b>	Toutes	2,2%	1,3%
	1mm	1%	1,3%
	5mm	3,1%	1,1%
	9mm	2,3%	1,4%

Tableau 4. Analyse des coupes à 1 mm de l'apex anatomique.

Obturation	Numéro de l'échantillon	% Gutta / Obturation Ratio S1/S2	Déformation du cône de gutta	Présence de bulle	Présence de manque	% de manque sur l'aire canalaire (m/(m+S2))*100
MONOCONE + BIOROOT	274 (1)	48,6	1	0	0	0
	274 (2)	66,5	1	0	0	0
	275	78,4	1	0	0	0
	278	58,3	1	0	0	0
	281		0	0	0	0
	283	83,1	0	1	1	13,3
	284	73,2	1	0	0	0,0
	287		0	0	0	0
	288	88,9	0	0	0	0
	289(2)	69,2	0	1	0	0
<b>MOYENNE MC</b>		<b>70,8</b>				<b>1,3</b>
<b>NOMBRE DE OUI (1)</b>			<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	
<b>ECART-TYPE</b>		<b>13,2</b>				
SYTEM B + PCS	291 (1)	66,7	1	0	0	0
	292	84,9	0	0	0	0
	293	31,3	0	0	1	10,1
	299	91,4	0	0	0	0
	300	INEXPLOITABLE	0	0	1	100
	303	74,3	0	0	0	0
	304	67,8	1	0	0	0
	305	79,9	0	0	0	0
	313	42,3	0	0	0	0
	314	92,4	1	0	0	0
<b>MOYENNE VC</b>		<b>70,1</b>				<b>11,0</b>
<b>NOMBRE DE OUI (1)</b>			<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	
<b>ECART-TYPE</b>		<b>21,2</b>				

Tableau 5. Analyse des coupes à 5 mm de l'apex anatomique.

	Obturation	Numéro de l'échantillon	% Gutta / Obturation Ratio S1/S2	Déformation du cône de gutta	Présence de bulle	Présence de manque	% de manque sur l'aire canalaire (m/(m+S2))*100
	MONOCONE + BIOROOT	274 (1)	46,9	1	1	0	0,0
		274 (2)	73,7	1	0	0	0,0
		275	71,1	0	1	1	1,9
		278	78,3	0	0	0	0,0
		281	29,6	0	1	0	0,0
		283	75,8	0	1	0	0,0
		284	69,8	1	1	0	0,0
		287	77,4	0	0	1	1,5
		288	85,9	0	0	1	6,5
		289(2)	84,1	0	0	1	1,5
		<b>MOYENNE MC</b>		<b>69,3</b>			
	<b>NOMBRE DE OUI (1)</b>			<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	
	<b>ECART-TYPE</b>		<b>17,6</b>				
	SYTEM B + PCS	291 (1)	73,1	0	0	0	0
		292	88,5	1	0	0	0
		293	82,0	1	1	1	31,2
		299	75,3	0	0	0	0
		300	93,3	0	0	0	0
		303	92,0	0	1	0	0
		304	64,8	1	0	0	0
		305	97,6	0	0	0	0
		313	87,8	1	0	0	0
		314	96,4	1	0	0	0
	<b>MOYENNE VC</b>		<b>85,1</b>				<b>3,1</b>
	<b>NOMBRE DE OUI (1)</b>			<b>5</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	
	<b>ECART-TYPE</b>		<b>11,0</b>				

Tableau 6. Analyse des coupes à 9 mm de l'apex anatomique.

	Obturation	Numéro de l'échantillon	% Gutta / Obturation Ratio S1/S2	Déformation du cône de gutta	Présence de bulle	Présence de manque	% de manque sur l'aire canalaire (m/(m+S2))*100
	MONOCONE + BIOROOT	274 (1)	34,5	1	1	0	0
		274 (2)	70,8	1	0	0	0
		275	60,5	0	1	0	0
		278	72,6	0	0	0	0
		281	52,4	1	1	1	6,5
		283	72,5	1	1	0	0
		284	70,5	1	0	0	0
		287	82,7	0	0	1	2,2
		288	95,4	1	0	1	3,0
		289(2)	89,0	0	0	1	2,2
		<b>MOYENNE MC</b>		<b>70,1</b>			
	<b>NOMBRE DE OUI (1)</b>			<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	
	<b>ECART-TYPE</b>		<b>17,8</b>				
	SYTEM B + PCS	291 (1)	79,8	1	0	0	0
		292	96,9	0	0	0	0
		293	96,6	1	0	0	0
		299	92,9	1	1	0	0
		300	73,5	1	0	1	18,7
		303	87,6	0	0	0	0
		304	92,3	0	0	0	0
		305	100,0	0	0	0	0
		313	86,7	1	0	1	4,6
		314	97,9	1	0	0	0
	<b>MOYENNE VC</b>		<b>90,4</b>				<b>2,3</b>
	<b>NOMBRE DE OUI (1)</b>			<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	
	<b>ECART-TYPE</b>		<b>8,6</b>				

**Les opinions émises dans les dissertations présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, sans aucune approbation ni improbation de la Faculté de Chirurgie Dentaire.**

**NACASCH Lauren. Appréciation au microscope optique de la répartition du ciment de scellement dans le canal radiculaire après obturation selon deux techniques. 2019. 84 p. : ill., tabl.. Réf. Biblio. : 73-76.**

**Sous la direction du Professeur SIMON Stéphane et du Docteur MARCHI Valentin.**

**Th : Chir Dent. : Paris 7 : 2019**

---

**RESUME :**

Le but de cette étude était d'observer la distribution du ciment de scellement dans les canaux radiculaires ovales obturés avec deux techniques différentes utilisant la gutta-percha.

Des racines de dents humaines extraites ont été réparties en deux groupes. Dans le groupe 1, les canaux ont été obturés avec la technique dite « en verticale à chaud » en 3 paliers de descente, avec du ciment Pulp Canal Sealer (Kerr endo, France). Dans le groupe 2, les canaux ont été obturés en technique monocône avec un matériau de la famille des biocéramiques (BioRoot RCS, Septodont – France). Après inclusion dans un bloc de résine, chaque racine a été coupée horizontalement à 1 mm, à 5 mm et à 9 mm de l'apex anatomique.

Les résultats de l'étude ont montré que sur l'ensemble de l'obturation, le ratio gutta-percha/ciment est supérieur avec la technique verticale à chaud qu'avec la technique monocône + biocéramique dans le tiers coronaire et le tiers moyen du canal.

L'étude a par ailleurs permis de montrer que quelle que soit la technique d'obturation utilisée, au niveau apical, les mêmes ratios gutta-percha/ciment sont obtenus. Autrement dit, ces deux techniques aboutissent à une obturation de type monocône à l'apex.

---

**TITRE en anglais :** Optical microscopic assessment of the distribution of the root canal sealer in the root canal after obturation according to two techniques.

---

**DISCIPLINE :** Endodontie

---

**MOTS-CLES Français :** BioRoot RCS, ciment biocéramique, obturation, monocône, ciment canalaire

---

**MOTS-CLES Anglais :** Endodontics, Root Canal Obturation, Root Canal Filling Materials, Tricalcium silicate, (dont plusieurs MESH obligatoires à signaler en tant que tels)

---