Université de Paris

FACULTÉ DE SANTÉ

UFR D'ODONTOLOGIE
5, Rue Garancière 75006 PARIS

Année 2021 **N°**

THÈSE pour le DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR

en CHIRURGIE DENTAIRE

présentée et soutenue publiquement le 15 décembre 2021

par **Raphaël GANEM**

LE CONTINUUM ENDO-RESTAURATEUR EN 2021 : UNE ENDODONTIE MINIMALEMENT INVASIVE POUR DES RESTAURATIONS MOINS DELABRANTES

Dirigée par Mme la Docteure Julia BOSCO
Co-Dirigée par Mme la Docteure Gabriela MONTERO

JURY

M. le Professeur Vianney DESCROIX	Président
Mme la Docteure Vanessa BAAROUN	Assesseur
Mme la Docteure Julia BOSCO	Assesseur
M. le Docteur Philippe GATEAU	Assesseur
M. le Docteur Jean-François NGUYEN	Assesseur
Mme la Docteure Marjorie ZANINI	Assesseur
Mme la Docteure Gabriela MONTERO	Membre Invité

CC BY NC ND

UNIVERSITÉ DE PARIS

Présidente de l'Université :	Mme la Professeure Christine CLERICI
Doyen de l'U.F.R. d'Odontologie Garancière :	M. le Professeur Vianney DESCROIX
Directrice Générale des Services :	Madame Pascale SAINT-CYR

JURY

M. le Professeur Vianney DESCROIX	Président
Mme la Docteure Vanessa BAAROUN	Assesseur
Mme la Docteure Julia BOSCO	Assesseur
M. le Docteur Philippe GATEAU	Assesseur
M. le Docteur Jean-François NGUYEN	Assesseur
Mme la Docteure Marjorie ZANINI	Assesseur
Mme la Docteure Gabriela MONTERO	Membre Invité

M. le Professeur Vianney DESCROIX — Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur en Pharmacie
Diplôme de Doctorat
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur de vous voir présider ce jury, je vous prie de trouver ici l'expression de mes sincères remerciements.

Mme la Docteure Vanessa BAAROUN — Docteur en Chirurgie Dentaire
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur de vous voir siéger au sein de ce jury, je vous prie de trouver ici l'expression de mes sincères remerciements.

Mme la Docteure Julia BOSCO — Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur d'avoir accepté d'encadrer ma thèse d'exercice, ainsi que pour le temps que vous y avez consacré, je vous prie de trouver ici l'expression de mes plus chaleureux remerciements.

M. le Docteur Philippe GATEAU — Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur de vous voir siéger au sein de ce jury, mais aussi pour tous les conseils que vous m'avez prodigué lors de ma cinquième année à l'hôpital Rothschild, je vous prie de trouver ici l'expression de mes sincères remerciements.

M. le Docteur Jean-François NGUYEN — Docteur en Chirurgie Dentaire
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur de vous voir siéger au sein de ce jury, je vous prie de trouver ici l'expression de mes sincères remerciements.

Mme la Docteure Marjorie ZANINI Docteur en Chirurgie Dentaire
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier

Pour l'honneur de vous voir siéger au sein de ce jury, je vous prie de trouver ici l'expression de mes sincères remerciements.

Mme la Docteure Gabriela MONTERO Docteur en Chirurgie Dentaire
Assistante Associée

Pour votre bienveillance et vos conseils lors de ma formation à la Pitié Salpêtrière comme après, mais également pour avoir accepté de diriger ma thèse d'exercice et vous être tant impliquée, je vous prie de trouver ici l'expression de mes remerciements les plus chaleureux.

Table des matières

1. Introduction 3

2. L'endodontie 5

2.1. Définition 5

2.2. Approche classique de l'endodontie : rappels 5

2.2.1. Les écoles de pensée en endodontie 5

2.2.2. Les principes mécaniques et biologiques du traitement endodontique 8

2.2.3. La cavité d'accès idéale 9

2.2.4. La mise en forme canalaire 9

2.2.5. Les techniques d'obturation 11

2.3. Un nouveau paradigme : « l'endodontie minimalement invasive » 13

2.3.1. Définition 13

2.3.2. Stratégies d'accès minimalement invasives 15

2.3.3. Mise en forme : évolution et présentation des instruments fondés sur l'approche endodontique « minimalement invasive » 19

2.3.4. Obturation : Silicates de calcium dans la démarche minimalement invasive. 31

2.3.5. Les avantages et les inconvénients de la démarche « *MIE* » 35

3. Dentisterie restauratrice à minima : restauration de la dent dépulpée 38

3.1. Taux de survie d'une dent dépulpée 39

3.1.1. Classification du succès/échec en endodontie et en dentisterie restauratrice 39

3.1.2. Origine des échecs catastrophiques : l'extraction des dents dépulpées 40

3.2. Facteurs critiques influençant la survie à long terme de la dent dépulpée 44

3.2.1. L'évolution de la compréhension biomécanique de la dentine 44

3.2.2. L'impact de l'âge sur la morphologie de la dentine 45

3.2.3. L'influence de la perte de tissus dentaires 47

3.3. L'utilisation du collage pour permettre une restauration à minima 52

3.3.1. L'évolution des systèmes de collage 52

3.3.2. Techniques de collages en une seule étape : les adhésifs universels 55
4. Conclusion 57
Bibliographie 59

1. Introduction

L'objectif du traitement endodontique est la prévention et le traitement de la parodontite apicale permettant la conservation de l'organe dentaire fonctionnel sur l'arcade (Ørstavik et Ford 1998).

De nombreux autres facteurs ont un impact sur le taux de succès d'un traitement endodontique, tels que la qualité de la restauration coronaire et l'intégrité structurelle de la dent après la préparation canalaire (Tavares et al. 2009).

Pendant près d'un siècle, les manuels d'endodontie ont enseigné à l'étudiant en dentisterie à réaliser des cavités d'accès fondées sur le concept d'obtention d'un accès au canal « en ligne droite » (Goerig et al. 1982). La préparation canalaire cherche à éliminer les contraintes coronaires pour accéder au tiers apical sans interférences.

Avec les progrès en terme d'éclairage et de grossissements, ainsi que l'émergence d'instruments rotatifs très flexibles, cette approche est remise en question comme peut-être trop invasive, pouvant condamner une dent à l'échec structurel (Gutmann 2013; Gluskin et al. 2014).

De plus, les efforts de recherche contemporains visent actuellement à mieux comprendre le comportement de la dentine au cours du vieillissement et lors de sa mise en fonction.

Une approche plus récente consiste donc à minimiser les changements structurels pendant le traitement canalaire, ce qui aboutit à une nouvelle stratégie qui peut être qualifiée « d'endodontie minimalement invasive » (Gutmann 2013).

Le concept « d'endodontie minimalement invasive » est fondé sur la nécessité de traiter et de prévenir les pathologies pulpaires et la parodontite apicale, tout en minimisant l'atteinte aux tissus dentaires durs (Ericson 2004; Gluskin et al. 2014).

Le chirurgien-dentiste doit développer de nouvelles compétences afin de s'adapter à son environnement de travail. Ces compétences comprennent le travail avec de nouveaux instruments et alliages ; des outils d'imagerie tridimensionnelle ; des logiciels informatiques sophistiqués qui mettent en évidence la complexité du système canalaire ; ainsi qu'un grossissement et un éclairage accrus.

Il n'existe cependant actuellement aucun protocole développé pour « l'endodontie minimalement invasive » (Gluskin et al. 2014).

L'objectif de cette revue narrative de la littérature, est d'illustrer l'état actuel des procédures endodontiques non chirurgicales mettant en évidence la conservation de la structure dentaire pour améliorer la longévité de l'organe dentaire après un traitement canalaire.

La première partie de ce travail sera consacrée à l'endodontie, elle introduira le concept « d'endodontie minimalement invasive ». Ensuite elle révisera les publications les plus récentes portant sur les avantages et inconvénients de cette démarche.

Dans un second temps, nous nous intéresserons à la dentisterie à minima, dans la logique d'un continuum endo-restaurateur ultra-conservateur. Nous nous pencherons sur les facteurs qui peuvent influencer la résistance biomécanique de la dent dépulpée ainsi que son taux de survie, puis l'évolution des techniques d'adhésion en dentisterie restauratrice.

2. L'endodontie

2.1. Définition

D'après « l'association américaine d'endodontie », l'endodontie correspond à la branche de la dentisterie concernée par la morphologie, la physiologie et la pathologie de la pulpe dentaire humaine et des tissus péri-radiculaires. Son étude et sa pratique englobent les sciences fondamentales et cliniques de la biologie de la pulpe normale. Cela comprend l'étiologie, le diagnostic, la prévention et le traitement des pathologies et lésions de la pulpe, et des conditions péri-radiculaires associées (American Association of Endodontists 2015).

2.2. Approche classique de l'endodontie : rappels

2.2.1. Les écoles de pensée en endodontie

On distingue deux grandes écoles de pensées en endodontie. La première, l'école de pensée dite « américaine », repose sur l'obtention d'une conicité croissante du foramen apical en direction coronaire. (Schilder 1967, 1974). La seconde, l'école de pensée dite « scandinave », avec « l'approche standardisée », repose sur l'obtention d'une « boîte apicale cylindrique » (Ingle 1961).

« L'approche standardisée » est pour la première fois décrite par John Ingle dans les années 1960 (Ingle 1961). Cette technique consiste à éliminer une épaisseur importante de dentine au niveau du tiers apical afin de créer une « boîte apicale cylindrique », ou « stop apical », qui permet de bloquer les matériaux au moment de l'obturation (Ingle 1961). La méthode d'obturation préconisée lors de l'utilisation de « l'approche standardisée » est celle de la condensation latérale à froid (Figure 1).

« L'approche standardisée » a longtemps été considérée comme une technique de référence, car elle répond à l'idée que plus l'élargissement apical est important, meilleur est le passage de la solution d'irrigation et donc la désinfection canalaire (Baugh et Wallace 2005).

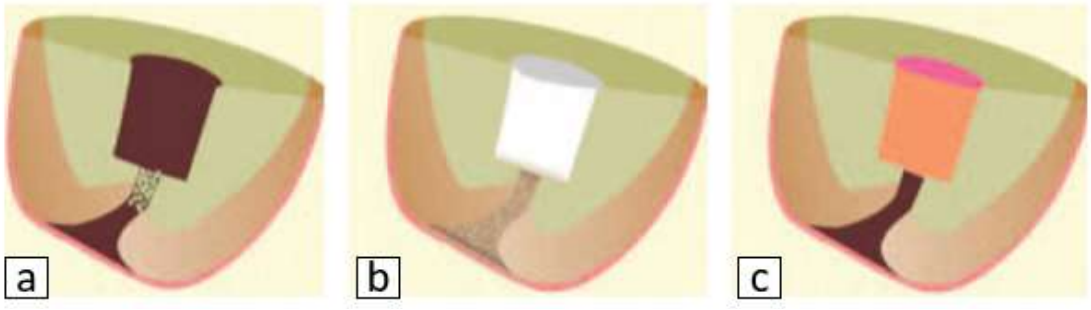

Figure 1 (Simon et al. 2009) : « Technique standardisée » en trois étapes : d'abord la mise en forme canalaire en retrait du foramen avec la formation de la « boîte apicale cylindrique » (a), puis la mise en place d'hydroxyde de calcium en inter-séance (b), et enfin, l'obturation canalaire (c).

Les détracteurs de cette technique de mise en forme reprochent cependant la difficulté d'application de la « technique standardisée » à des canaux trop courbes où le « stop apical » se transformerait en une « butée apicale » ; mais aussi l'absence d'instrumentation de la partie terminale du tiers apical où se trouve le foramen, qui ne serait donc ni nettoyée ni instrumentée et susceptible de conduire à l'échec du traitement endodontique.

Il est également reproché à la « technique standardisée » sa difficulté d'application dans des canaux à la forme trop ovalaire, ou encore la possibilité, en cas d'erreur de manipulation, de détruire « le stop apical » qui est la seule barrière empêchant la fuite des matériaux dans le péri-apex (Pertot et Pommel 2020).

L'école de pensée endodontique dite « américaine », diffère de la méthodologie précédente et repose sur des bases d'abord définies par le Pr. Herbert Schilder à la fin des années 1960 (Schilder 1967, 1974). Il s'agit d'une approche fondée sur la conicité, croissante et continue, du foramen apical en direction coronaire (Schilder 1967), (Figure 2).

Cette philosophie du traitement endodontique repose sur des principes mécaniques et biologiques qui seront détaillés dans la partie suivante de cet essai. Les objectifs mécaniques permettent de mieux répondre aux objectifs biologiques du traitement endodontique, c'est-à-dire l'élimination des débris, de la matière organique, ainsi que des bactéries du système canalaire (Schilder 1974; Hulsmann et al. 2005)

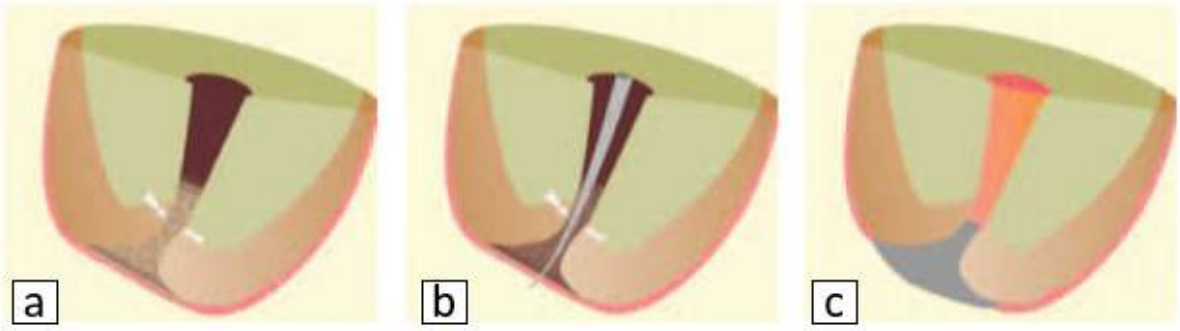

Figure 2 (Simon et al. 2009) : L'approche « fondée sur la conicité » en trois étapes : d'abord la mise en évidence du foramen apical (a), ensuite la vérification de la « perméabilité apicale » avec une lime de faible diamètre (b), et enfin l'obturation (c).

Cette conicité continue et croissante du foramen à la partie la plus coronaire de la dent remplit un double objectif. D'une part, elle créé une résistance qui bloque la progression du cône de gutta-percha lors de la compaction verticale à chaud, la technique d'obturation de référence pour cette technique de mise en forme endodontique. D'autre part, elle permet de transformer la poussée verticale, exercée lors de l'obturation, en pression latérale pour permettre une obturation tridimensionnelle, notamment au niveau des canaux latéraux et des différentes irrégularités des parois radiculaires (Schilder 1967).

Les partisans de l'école de pensée « scandinave » reprochent cependant à cette technique le manque d'élargissement apical qui n'éliminerait pas suffisamment de dentine apicale infectée, ainsi que l'absence d'un véritable « stop apical », ce qui augmenterait le risque de dépassement de matériau au niveau du péri apex.

Il convient cependant de rappeler qu'il n'existe aucune étude ayant comparé de manière prospective et randomisée les deux concepts, pour permettre de mettre en évidence la supériorité de l'un par rapport à l'autre (Pertot et Pommel 2020). Il appartient donc au clinicien de trouver le juste équilibre entre la nécessité d'un élargissement canalaire permettant une désinfection efficace, et les conséquences structurelles qu'engendrent la destruction de tissus dentaires quant à la résistance mécanique future de l'organe (Falk et Sedgley 2005).

2.2.2. Les principes mécaniques et biologiques du traitement endodontique

Il existe un certain nombre d'objectifs biologiques et mécaniques auxquels doit répondre une mise en forme canalaire afin de garantir le succès d'un traitement endodontique. Ces principes, évoqués par le Pr. Herbert Schilder à la fin des années 1960 (Schilder 1974), restent inchangés quelle que soit l'évolution des techniques de mise en forme et les nouveaux instruments mis à disposition sur le marché (Hulsmann et al. 2005).

Les principes biologiques d'un traitement endodontique doivent permettre de :

- Délivrer la solution d'irrigation le apicalement possible dans le canal afin de permettre la désinfection (Schilder 1974),
- Permettre l'obturation tridimensionnelle du canal (Schilder 1974).

Les principes mécaniques du traitement endodontique quant à eux, doivent permettre de (Schilder 1974) :

- D'obtenir une préparation conique, avec une conicité régulière et continue ; le diamètre doit s'accroire progressivement du foramen apical en direction coronaire (Figure 3a),
- Maintenir la trajectoire canalaire initial (Figure 3b),
- Maintenir la position spatiale du foramen,
- Maintenir un foramen étroit (Figure 3c).

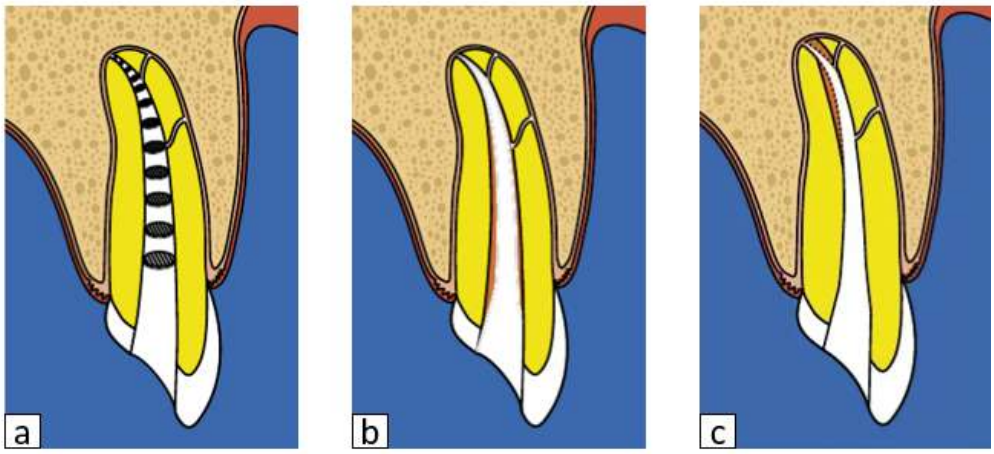

Figure 3 (Castellucci 2005) : Le diamètre transversale du canal s'accroit progressivement du foramen en direction coronaire (a). La trajectoire canalaire est maintenue lors de la mise en forme (b), le foramen apical doit être maintenu le plus étroit possible (c).

2.2.3. La cavité d'accès idéale

Tout traitement endodontique débute par la réalisation d'une cavité d'accès idéale.

Cette dernière doit répondre à cinq critères différents (Clark et Khademi 2010; Adams et Tomson 2014) :

- La suppression entière du plafond pulpaire et de toute zone de contre-dépouille éventuelle pour éviter la persistance de débris organique.
- La visualisation complète des orifices canalaires en préservant le plancher pulpaire.
- Permettre l'accès direct des instruments de mise en forme au tiers apical du canal par le retrait de toute contrainte coronaire.
- Avoir un réservoir à quatre parois permanent de solution d'irrigation, qui permet le renouvellement de la solution à chaque passage d'instrument.
- Permettre une bonne assise du pansement temporaire en inter-séance, en attendant la restauration coronaire définitive.

2.2.4. La mise en forme canalaire

La mise en forme canalaire constitue une étape primordiale du traitement endodontique. Elle fait partie de la triade endodontique : mise en forme, désinfection et obturation tridimensionnelle (Schilder 1974). Elle est la pierre angulaire du traitement, car sans une mise en forme adéquate, on ne peut pas obtenir une désinfection et une obturation correctes.

Avant d'aborder les concepts de mise en forme, le rappel de quelques définitions s'impose afin d'en faciliter la compréhension.

2.2.4.1. Définition du diamètre et conicité

En endodontie, le diamètre d'un instrument ou d'un canal correspond à la dimension de la section transversale en un point donné. Traditionnellement, on l'exprime en centièmes de millimètres. Pour les instruments, le diamètre inscrit sur le manche correspond au diamètre à la pointe de ce-dernier.

La conicité correspond à l'augmentation du diamètre, c'est-à-dire la section transversale, par millimètre, le long d'un volume (instrument ou canal). Des instruments peuvent avoir le même diamètre à la pointe mais des conicités différentes (Pertot et Pommel 2020).

L'objectif principal de la mise en forme consiste en l'obtention d'une conicité importante, pour donner une forme au canal qui permette de délivrer la solution d'irrigation avec une aiguille adaptée, et de la renouveler, jusque dans les zones les plus apicales. La nécessité d'une conicité suffisante lors de la mise en forme, permettant de délivrer la solution d'irrigation antimicrobienne dans le système endo-canalaire entier, a été démontrée à plusieurs reprises (Albrecht et al. 2004; Khademi et al. 2006; Boutsioukis et al. 2010).

2.2.4.2. Les instruments à forte conicité

L'apparition de la norme ISO dans les années 1960 confère aux différents instruments manuels en acier des caractéristiques communes, parmi lesquelles une conicité instrumentale de 2% (Camps et Pertot 1992).

Etant donnée la faible conicité des limes aux normes ISO, la mise en forme conique du canal est obtenue par l'instrumentation de ce-dernier avec des limes au diamètre croissant, en retrait. C'est la technique du « *step back* ». (Figure 4) (Hulsmann et al. 2005).

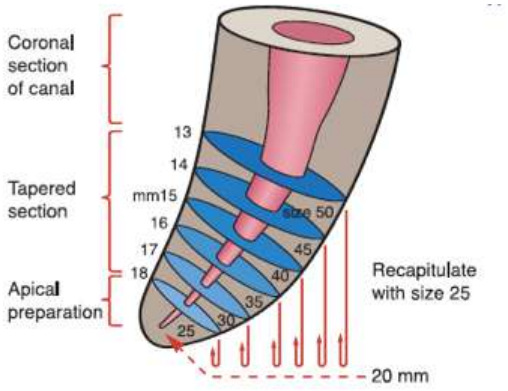

Figure 4 : la conicité de la mise en forme canalaire est obtenue par l'utilisation de limes manuelles au diamètre croissant, utilisées en retrait les unes des autres, c'est la méthode du « *step back* ».

Source : Singh et Hegde, *Root canal treatment*, 2006

L'apparition de l'alliage à base de nickel-titane dans les années 1980 a permis le développement d'instruments à conicité variable (Walia et al. 1988).

Cet alliage, composé à 55% de nickel et 45% de titanium, est qualifié d'alliage à « mémoire de forme » et possède une élasticité supérieure à celle de l'acier. En effet, la limite d'élasticité de ce matériau en torsion et en flexion est deux à trois fois supérieure à celle de l'acier, et son

module d'élasticité est significativement plus faible. Ainsi, les forces exercées sur les parois canalaires lors de la mise en forme sont plus faibles, en comparaison aux instruments en acier (Walia et al. 1988; Bergmans et al. 2001).

De fait, ces nouvelles propriétés mécaniques permettent l'émergence d'instruments avec une conicité plus élevée que les 2% standards des instruments en acier, qui avaient atteint les limites biomécaniques du matériau (Bergmans et al. 2001).

A l'heure actuelle, on peut trouver sur le marché une offre importante de systèmes de mise en forme avec une forte conicité.

Il existe des instruments mécanisés proposés avec une dynamique de rotation continue : le plus connu est le système ProTaper de la société Dentsply Sirona, à conicité variable ; ou encore le système 2Shape de la société MicroMega, avec deux instruments à 4% et 6% de conicité.

On retrouve également des instruments à conicité forte, présentant une dynamique de rotation alternative asymétrique, qu'on nomme également mouvement de « réciprocité ».

Ainsi, on peut noter le système Reciproc proposé par VDW Dental, avec trois instruments présentant une conicité allant de 5% à 8% ; et le système WaveOne de Dentsply Sirona avec trois instruments présentant une conicité allant de 5% à 7% (Webber et al. 2011).

2.2.5. Les techniques d'obturation

Une fois le canal mise en forme via l'une des techniques précédemment décrites, il convient alors d'effectuer son obturation tridimensionnelle de la manière la plus étanche possible, afin de garantir la pérennité du traitement endodontique (Schilder 1967).

Il existe différentes techniques d'obturation canalaire, les plus répandues étant : la compaction verticale à chaud, la condensation latérale à froid, et l'obturation dite « monocône ».

2.2.5.1. La compaction verticale à chaud

La technique d'obturation via une compaction verticale à chaud du matériau d'obturation a été proposée par le Pr. Herbert Schilder à la fin des années 1960. Cette technique se présente comme une « obturation tridimensionnelle » (Schilder 1967). C'est le « gold standard » en matière d'obturation endodontique.

La technique princeps décrite par Schilder (Schilder 1967) repose, après l'ajustage du maitre cône, sur l'utilisation d'instruments réchauffeurs qui sont destinés à apporter la chaleur au cœur du matériau. Elle se déroule en deux phases, d'abord une phase de descente, puis une phase de remontée.

La phase de descente consiste en une succession de cycles de compaction et de réchauffage afin de former un bouchon apical de gutta-percha. Elle permet également l'obturation des espaces latéraux. La phase de remontée apico-coronaire permet ensuite d'obturer l'espace restant dans le canal après la première phase de descente.

Pour permettre la réalisation correcte d'une compaction verticale à chaud, la mise en forme canalaire doit répondre aux critères de conicité précédemment décrits. Cette conicité croissante du foramen à la couronne permet en effet au matériau, ductile grâce à la chaleur, de pénétrer toutes les complexités anatomiques du canal, grâce à sa sensibilité thermique mais aussi à la pression appliquée.

Cette conicité large permet également d'éviter le dépassement de ciment de scellement au-delà du péri-apex. Un faible dépassement peut apparaître mais si le foramen a été respecté dans sa position et son diamètre, cette « surobturation », n'influence pas le pronostic (Whitworth 2005).

2.2.5.2. L'obturation dite « monocône »

La technique d'obturation dite « monocône », consiste à injecter du ciment de scellement dans le canal avec un cône de gutta-percha unique.

Cette technique présente un grand inconvénient. Le cône de gutta-percha n'étant pas compacté, la majorité du canal est rempli de ciment de scellement canalaire qui est sujet à une dégradation avec le temps, favorisant une percolation bactérienne (Trope et al. 2015).

Cette technique est difficilement contrôlable et reproductible, et peut également entraîner une sous-obturation ou un dépassement important de ciment d'obturation (Whitworth 2005).

Il s'agit de la technique la moins conseillée.

2.2.5.3. La condensation latérale à froid

Une autre technique d'obturation couramment utilisée est la condensation latérale à froid (Whitworth 2005).

Hormis le « maître cône » et le ciment de scellement, la technique de condensation latérale à froid nécessite également l'utilisation de fouloirs manuels pour condensation latérale appelés « *finger spreaders* », et de cônes de gutta-percha accessoires.

Cette technique consiste à écraser une série de cônes de gutta-percha de plus en plus fin contre les parois du canal, à l'aide des « fingers spreaders », jusqu'à obtenir son obturation.

2.3. Un nouveau paradigme : « l'endodontie minimalement invasive »

2.3.1. Définition

Les avancées technologiques de ces dernières années, que ce soit au niveau de la magnification, des instruments, des matériaux, ou bien des outils informatiques, ont permis la mise en œuvre de nouveaux protocoles et la mise en place de nouvelles stratégies de soins, en médecine générale mais aussi en dentisterie moderne (Gluskin et al. 2014).

C'est dans le cadre de ce renouveau technologique que s'inscrit le concept de « dentisterie minimalement invasive ». Elle se caractérise par un respect « systématique du tissu naturel » (Ericson 2004). Le congrès mondial de la dentisterie minimalement invasive la définit comme l'ensemble des techniques permettant le respect de la santé, la fonction, et l'esthétique de l'organe dentaire en évitant l'apparition des maladies, ou en interceptant leur progression pour permettre une perte de tissu dentaire minimale (Nový et Fuller 2008).

« L'endodontie minimalement invasive » découle directement de la conception de « dentisterie minimalement invasive ». Cette approche est fondée sur la nécessité de traiter et prévenir les pathologies pulpaires et la parodontite apicale, tout en provoquant le moins de modifications des tissus dentaires durs. On veut préserver la résistance et la fonction de la dent traitée endodontiquement. (Gluskin et al. 2014).

Ce paradigme intervient à toutes les étapes du traitement endodontique, et cherche à préserver l'intégrité structurelle de l'organe dentaire. En effet, cette intégrité constitue un facteur clé qui contribue au maintien futur de la fonction de la dent après sa restauration définitive (Nagasiri et Chitmongkolsuk 2005; Tang et al. 2010).

Les études récentes sur le comportement biomécanique de la dentine ont permis d'élargir le champ de compréhension quant à la résistance d'une dent après différents traitements. Cette résistance est fortement affectée par les traitements restaurateurs effectués sur la dent (Kishen 2006).

Une étude menée il y a plus de trente ans (Reeh et al. 1989) mettait déjà en évidence l'impact du traitement endodontique face au traitement restaurateur sur la résistance mécanique d'une dent dépulpée. Les résultats obtenus par cette étude ont montré que la cavité d'accès diminue la résistance mécanique de la dent seulement de 20%, contrairement à une procédure restauratrice retirant les deux crêtes marginales et qui entrainerait alors une réduction de la résistance mécanique de 63%.

Cette même étude souligne que chaque paroi atteinte diminue la résistance mécanique de la dent de 20 % (Reeh et al. 1989).

De plus, la similarité des propriétés biomécaniques entre la dentine d'une dent vitale et celle d'une dent dépulpée soutient l'idée que le traitement endodontique, bien qu'il retire le paquet vasculo-nerveux de la dent, ne la fragilise pas significativement. Il y aurait donc d'autres facteurs à prendre en considération (Sedgley et Messer 1992).

Cette évolution de la compréhension des propriétés biomécaniques de la dentine, et de l'origine de la perte de résistance mécanique remettent en question l'idée qu'il s'agisse du traitement endodontique lui-même qui soit à l'origine de la fragilisation de la dent dépulpée (Gluskin et al. 2014).

Il convient donc de prendre en compte d'autres facteurs pouvant conduire, à long terme, à la fracture d'une dent dépulpée et sa perte de fonction sur l'arcade. Ainsi, outre la perte directe de tissus dentaires, l'usure mécanique de la dentine ou encore sa perte de résistance naturelle liée à l'augmentation de l'âge sont des facteurs qui influent sur le taux de survie de la dent (Gluskin et al. 2014).

Il est également utile de rappeler l'impact de la qualité de la restauration future sur le taux du succès du traitement, et le maintien de l'organe dentaire sur l'arcade de façon pérenne (Tavares et al. 2009). Ces notions seront abordées plus amplement dans la seconde partie de notre exposé.

Ces nouveaux éléments de compréhension permettent d'aborder les étapes du traitement endodontique autrement. Que ce soit la préparation de la cavité d'accès ou la mise en forme canalaire, il est possible d'envisager ces étapes en étant plus conservateur (Gluskin et al. 2014).

2.3.2. Stratégies d'accès minimalement invasives

Dans la première partie de notre exposé, nous avons décrit la cavité d'accès idéale. Celle-ci doit répondre à plusieurs critères, notamment la suppression entière du plafond pulpaire et de toute zone de contre-dépouille pour pouvoir permettre de visualiser les orifices canalaires.

Sa mise en place s'accompagne également par un retrait des contraintes coronaires au niveau des entrées canalaires, le fameux « triangle dentinaire », afin de permettre un accès direct à la zone apicale et permettre une meilleure désinfection (Goerig et al. 1982; Hulsmann et al. 2005).

Le retrait de ces contraintes coronaires se fait généralement à l'aide de forêts de Gates aux diamètres à la pointe croissants : le numéro 1 à 50/100^{e} de mm de diamètre; le numéro 2 à 70/100^{e} de mm de diamètre; le numéro 3 à 90/100^{e} de mm de diamètre ; le numéro 4 à 110/100^{e} de mm de diamètre.

Ces diamètres à la pointe relativement élevés peuvent rendre la relocalisation des entrées canalaires assez délabrante en tissu dentaire (Figures 5 et 6) (Goerig et al. 1982; Sousa et al. 2015).

Figure 5 (Bronnec et Caron 2008) : Après le passage d'une lime manuelle K10 (a), la relocalisation de l'entrée canalaire pour dégager les contraintes coronaires est effectuée à l'aide d'un forêt de Gates (b), afin de pouvoir poursuivre la mise en forme sans contrainte jusque dans la zone apicale (c).

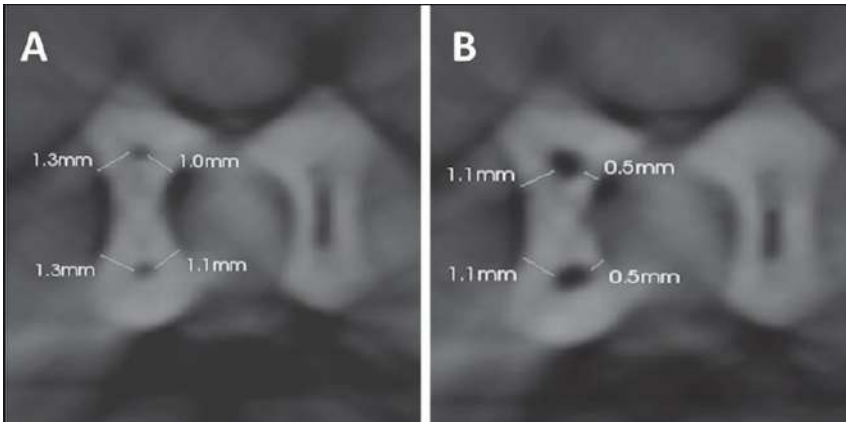

Figure 6 (Sousa et al. 2015) : Coupes au CBCT des canaux mésiaux d'une première molaire mandibulaire avant (A) et après (B) la relocalisation des entrées canalaires aux forêts de Gates numéros 1,2,3.

Cependant, dans cette ère de grossissement amélioré, et avec l'accès à des instruments plus flexibles, certains auteurs remettent en question ces pratiques qui sacrifient la dentine au niveau péri-cervical.

Des concepts décrits par Clark et Khademi (Clark et Khademi 2010a) proposent d'envisager une approche différente de la cavité d'accès, mettant en exergue la possibilité de conserver ce qu'ils nomment « *soffit* », et la dentine péri-cervicale, lors de la mise en forme, pour permettre un plus grand taux de survie de la dent dépulpée (Gaikwad et Pandit 2016).

Le « *soffit* » est définit comme une partie du plafond pulpaire au niveau de la partie la plus coronaire de la chambre (Figure 7). Son maintien en partie, pour sa portion la plus périphérique surtout, permettrait d'améliorer la résistance biomécanique de la dent.

Le concept de « *soffit* » est cependant encore nouveau, et nécessite sa mise à l'épreuve par davantage d'études pour mesurer son efficacité avérée dans l'augmentation de la résistance mécanique de la dent ; mais aussi l'incidence de sa préservation sur l'efficacité de la désinfection et de la mise en forme endodontique (Clark et Khademi 2010a; Gaikwad et Pandit 2016).

La dentine péri-cervicale quant à elle, décrit la dentine qui se situe 4mm au-dessus et au-dessous de la crête alvéolaire. L'atteinte de cette partie critique lors de la relocalisation des entrées canalaires, et notamment avec des instruments délabrants comme le forêt de Gates, a été remise

en question par les défenseurs de cette approche (Figures 7 et 8) (Clark et Khademi 2010a; Gluskin et al. 2014).

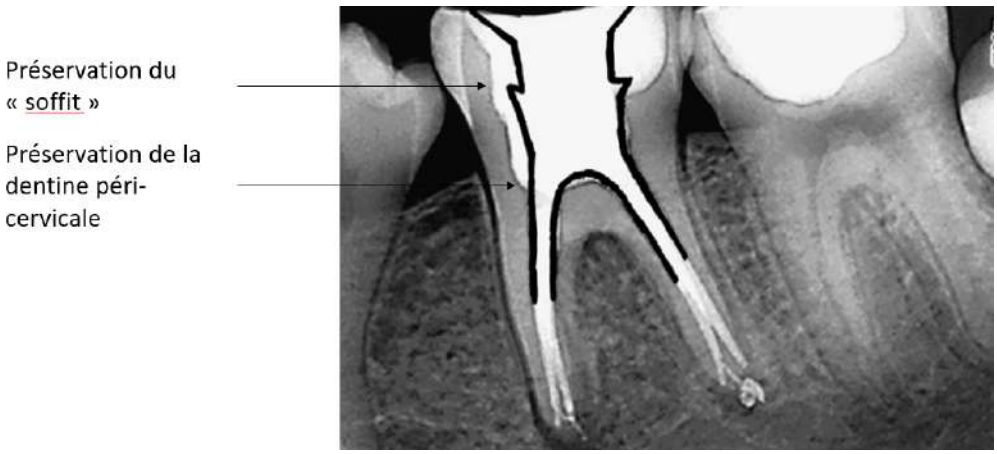

Figure 7 (Clark et Khademi 2010a) : en dessin au trait noir, on trouve le schéma d'une cavité d'accès décrite par Clark et Khademi, soulignant la préservation du « soffit » au niveau des cornes pulpaires mésiale et distale ; ainsi qu'une préservation plus importante de la dentine péri-cervicale au niveau des entrées canalaires.

Figure 8 (Gaikwad et Pandit 2016) : radiographies pré (a,c) et post opératoires (b,d), d'une molaire mandibulaire traitée endodontiquement, avec une cavité d'accès « traditionnelle » (c,d) et une cavité d'accès plus conservatrice selon le modèle de Clark et Khademi (a,b)

Cette nouvelle approche de cavité d'accès est à bien différencier des cavités d'accès ultra-conservatrice dites « ninja », dont l'apport en résistance mécanique pour la dent, par rapport à la cavité d'accès idéale originelle, n'a pas été prouvé (Plotino et al. 2017).

La conservation de la dentine péri-cervicale, surtout au niveau des molaires, apparait critique dans la survie à long terme et le maintien d'une fonction optimale de la dent (Clark et Khademi 2010a; Gaikwad et Pandit 2016). En orientant sa mise en forme vers une conservation dentinaire maximale et une protection de la zone autour de la jonction amélo-cémentaire, le praticien met en œuvre une méthodologie qui vise à renforcer la dent traitée endodontiquement. Il n'existe en effet, à ce jour, aucun matériau de substitution créé par l'homme, ou de technique, qui ne saurait remplacer une perte de tissu dentaire dans ces zones clés (Gluskin et al. 2014).

Une première étude in vitro (Krishan et al. 2014) portant sur des incisives, prémolaires et molaires, a confirmé une plus grande conservation de la dentine avec ce modèle de cavité d'accès, et une meilleure résistance à la fracture pour les prémolaires et les molaires. Cependant, elle a également mis en évidence une difficulté accrue dans l'instrumentation du canal distal des molaires.

Une étude in vitro (Plotino et al. 2017) portant sur 160 molaires mandibulaires et maxillaires a évalué leur résistance mécanique en fonction du type de cavité d'accès réalisé. L'étude a mis en évidence une meilleure résistance mécanique pour les dents avec une cavité d'accès plus conservatrice, mais a aussi mis en évidence le manque de recul clinique face à ces nouvelles cavités, et l'impact qu'elles pourraient avoir sur la qualité du traitement endodontique.

Une autre étude in vitro (Makati et al. 2018) portant sur un échantillon de soixante molaires, sur lesquelles les cliniciens ont réalisé des cavités d'accès classiques, et des cavités d'accès plus conservatrices, a démontré des résultats similaires.

Le recul scientifique est encore faible, et il semble nécessaire d'évaluer également l'impact qu'auraient ces cavités sur la qualité de la désinfection canalaire (Sabeti et al. 2018).

Ces nouvelles conceptions concernant la cavité d'accès endodontique nécessitent donc davantage de mise à l'épreuve clinique, que ce soit in vivo ou in vitro, mais soulignent la nécessité d'une réflexion quant à la manière de concevoir la cavité d'accès endodontique idéale, dans un contexte où les instruments sont plus flexibles, et les aides optiques beaucoup plus présentes.

2.3.3. Mise en forme : évolution et présentation des instruments fondés sur l'approche endodontique « minimalement invasive »

L'évolution technologique des instruments de mise en forme permet également de servir l'approche « minimalement invasive ».

Comme rappelé dans la première partie de cet exposé, l'apparition de l'alliage en nickel-titane a permis d'améliorer la résistance à la flexion des instruments endodontiques (Walia et al. 1988).

Depuis quelques années, plusieurs fabricants ont introduit des instruments moins coniques. Parmi ces nouveaux instruments, on peut citer : le TruShape et le TruNatomy proposés par la société Dentsply Sirona, l'XP-Endo Shaper proposé par la société FKG Suisse (Jensen et al. 2019).

En développant ces nouveaux instruments, les fabricants cherchent à répondre à deux objectifs : d'abord, essayer d'adapter la dynamique du mouvement à l'anatomie canalaire qui est très souvent ovalaire et rarement parfaitement circulaire ; et ensuite, augmenter le pourcentage de surface des parois canalaires touchées par l'instruments. (Jensen et al. 2019). Notamment pour l'XP-Shaper, l'idée n'est plus d'imprimer la forme de l'instrument au canal, mais de développer des instruments s'adaptant à l'anatomie originelle du canal.

Il faut rappeler les variations morphologiques importantes que l'on peut rencontrer au niveau des différents canaux. Ils sont souvent asymétriques, ovoïdes dans leur section transversale, et peuvent présenter des divisions ou des ramifications. Les parois canalaires exhibent souvent des concavités ou des convexités (Wu et al. 2006).

Pour alerter les cliniciens sur la nécessité de considérer le canal dans sa dimension transversale, le Dr. Jou a proposé l'utilisation du terme de « largeur de travail », soulignant l'importance de du diamètre de la mise en forme et son influence sur la désinfection du tiers apical (Jou et al. 2004).

Bien que la plupart des instruments rotatifs en nickel-titane permettent d'obtenir une mise en forme sans erreur majeure, ces instruments ne sont pas forcément conçus pour s'adapter

parfaitement à la morphologie transversale non circulaire de nombreux canaux (Azim et al. 2017).

Ces instruments récents se sont grandement améliorés grâce à différents traitements électrochimiques ou thermiques. Cependant, il demeure toujours difficile d'instrumenter complètement le canal dans les trois dimensions spatiales, et cela peut conduire parfois à l'échec du traitement endodontique (Figure 9) (Azim et al. 2017).

Une étude in vitro avec plusieurs instruments mécanisés traditionnels a mis en évidence que jusqu'à 80% des parois canalaires peuvent ne pas être touchée lors de l'instrumentation (Peters et al. 2001) (Figures 9 et 10).

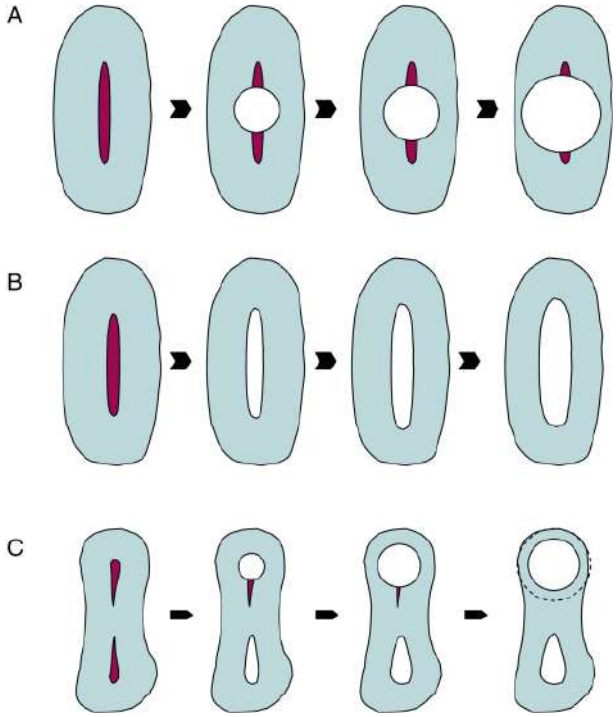

Figure 9 (Metzger et al. 2010) : représentation schématique de la section transversale de la mise en forme canalaire d'une molaire mandibulaire. Les instruments rotatifs classiques seuls ne peuvent pas instrumenter la totalité de l'espace canalaire (A), ou alors le font au détriment d'un grand retrait de dentine (C).

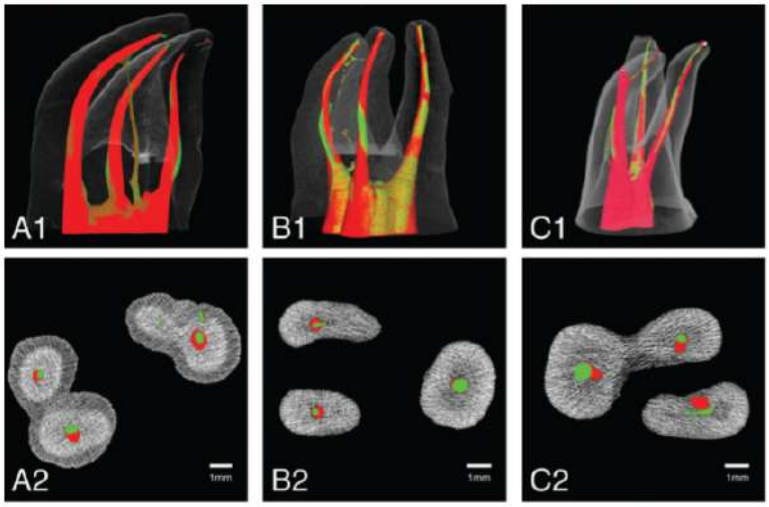

Figure 10 (Peters 2004) : Images microCT, entières (1) et en coupes transversales (2), qui illustrent l'impact des variations de morphologie canalaire sur la qualité de la mise en forme. L'anatomie originale du canal est en rouge, l'anatomie du canal après la mise en forme est en vert.

Les préparations canalaires ont été réalisées avec des instruments présentant des conicités fixes (B) ou variables (A et C).

Ainsi, même si l'utilisation d'un instrument mécanisé réduit significativement la proportion de bactéries intra-canalaire, elle ne pourra jamais permettre l'obtention d'un canal stérile. Malgré la mise en forme, il persiste une portion non négligeable de débris et un « *smear layer* » résiduel sur les parois. Il est donc indispensable d'avoir recours à une solution de désinfection qui irrigue de manière efficace le canal (Hulsmann et al. 2005).

La cavité d'accès « idéale » doit donc permettre un accès en ligne droite, jusqu'à l'apex, pour faciliter le passage de la solution d'irrigation et permettre à l'instrument de mise en forme d'atteindre les parties plus apicales du canal. Cependant, cette conception d'accès direct en ligne droite peut aussi résulter en un retrait de dentine indue, ou encore une fragilisation des zones critiques de la dent dans sa résistance mécanique (Peters et al. 2015).

Le diamètre apical obtenu après la mise en forme canalaire constitue un autre sujet de controverse dans cette philosophie. Bien qu'un diamètre et une conicité plus faibles préservent plus de dentine, permettant une meilleure résistance de la dent, plusieurs études in vitro corrèlent un élargissement plus important lors de la mise en forme avec un meilleure taux de

pénétration de la solution d'irrigation jusqu'à l'apex ; et donc une réduction de la charge bactérienne intra-canalaire (Chow 1983; Shuping et al. 2000; Gluskin et al. 2014).

Une revue de Gluskin et Peters a regroupé plusieurs études in vitro ainsi que d'autres revues de littérature de ces dix dernières années portant sur la corrélation entre le diamètre et la conicité lors de la mise en forme, et la qualité de la désinfection intra-canalaire. Les résultats ne sont pas unanimes, et les diamètres instrumentaux minimum préconisés varient de 25 à 40/100^{e} de mm ; avec des conicités variant de 2% à 6%. Plusieurs études sont également non conclusives (Gluskin et al. 2014).

Il faut rappeler que l'usage d'instruments à conicité plus forte et de diamètre plus large augmente non seulement les dommages structurels infligés à la dent, mais aussi les risques d'erreurs tels que les transports internes ou externes, les perforations apicales ou encore la perte de la position originelle du canal. Cela conduit à une fragilisation de la structure dentaire (Weine et al. 1975; Gluskin et al. 2014).

Il est également important de souligner qu'il n'existe aucune technique d'instrumentation associée à une désinfection correcte qui puisse permettre l'obtention d'un canal totalement exempt de bactéries (Shuping et al. 2000; Hulsmann et al. 2005; Gluskin et al. 2014).

En prenant en compte toutes les informations précédemment décrites, certains proposent alors de recourir à des techniques de mise en forme canalaire plus conservatrices (Gluskin et al. 2014).

C'est ainsi que certains fabricants ont mis sur le marché de nouveaux instruments qui cherchent à mieux respecter la morphologie du canal. On détaillera par la suite trois d'entre eux : l'XP-Endo Shaper, proposé par FKG Dentaire, le TRUShape et le TruNatomy, proposé par Dentsply Sirona.

La société FKG Dentaire (La Chaux-De-Fonds, Suisse), a récemment proposé un nouveau système de mise en forme mono-instrumental nommé XP-Endo-Shaper. Fabriqué en alliage nickel MaxWire, la forme de l'instrument, spécifique, permet l'adaptation de ce-dernier au

canal et non l'inverse. Ainsi, la forme de préparation finale du canal correspond à celle des mouvements d'enveloppe de l'instrument.

Le fabricant affirme que l'un des avantages remarquable de ce système est sa forme de « serpent » et son extrême flexibilité, ce qui permet à l'instrument de se contracter et de s'expandre sous les contraintes du canal, ainsi que d'atteindre des zones auxquelles les instruments conventionnels ne peuvent tout simplement pas accéder (Adiguzel et al. 2018).

Sa transformation de la forme plus droite vers la forme de serpentin se fait à température corporelle, c'est-à-dire au-delà de 35°C. (Alves et al. 2016; Machado et al. 2019) (Figure 11).

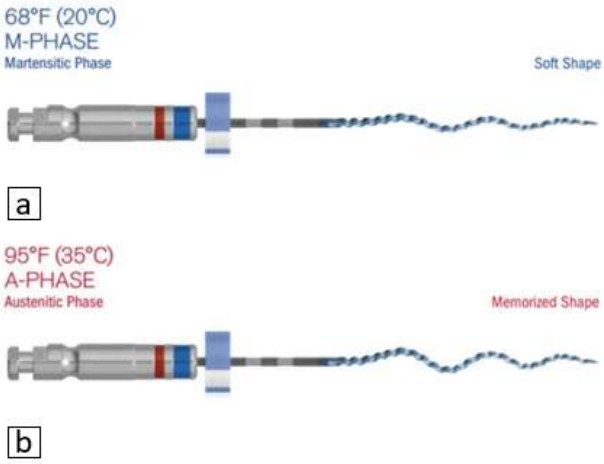

Figure 11 (Brasseler USA ©) : A température ambiante, autour de 20°C, l'instrument est en phase dite martensite, droite, avec une conicité de 1% et 1mm plus long que lorsqu'il est à température corporelle (a). Passé les 35°C, il entre alors en phase dite austenite, où il prend une forme en serpentin, avec une conicité plus élevée d'environ 4% (b).

Plusieurs études in vitro ont comparé l'XP-Endo Shaper à d'autres instruments rotatifs en nickel-titane sur le marché, et démontrent que l'instrument atteindrait un pourcentage plus important de la surface canalaire lors de la mise en forme, et permettrait un meilleur centrage (Figures 12 et 13) (Azim et al. 2017; Lima et al. 2020). La résistance à flexion et à la fatigue cyclique de l'instrument a également été mis à l'épreuve in vitro, et est apparue significativement meilleure, face à d'autres instruments en nickel-titane plus coniques (Adiguzel et al. 2018).

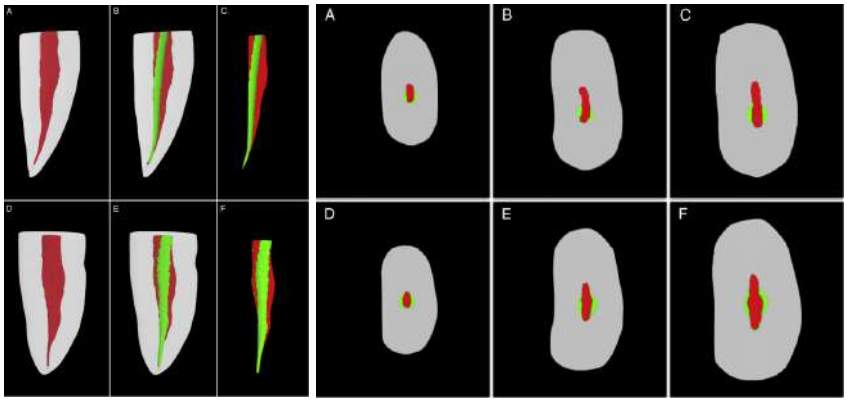

Figure 12 (Azim et al. 2017) : Coupes au microCT longitudinales (à gauche) et transversales (à droite) d'une incisive mandibulaire mis en forme, en haut avec le Vortex Blue (a,b,c), et en bas, avec le XP-Endo Shaper (d,e,f). L'étude in vitro met en évidence un meilleur centrage et un meilleur respect de la structure tri-dimensionnelle du canal.

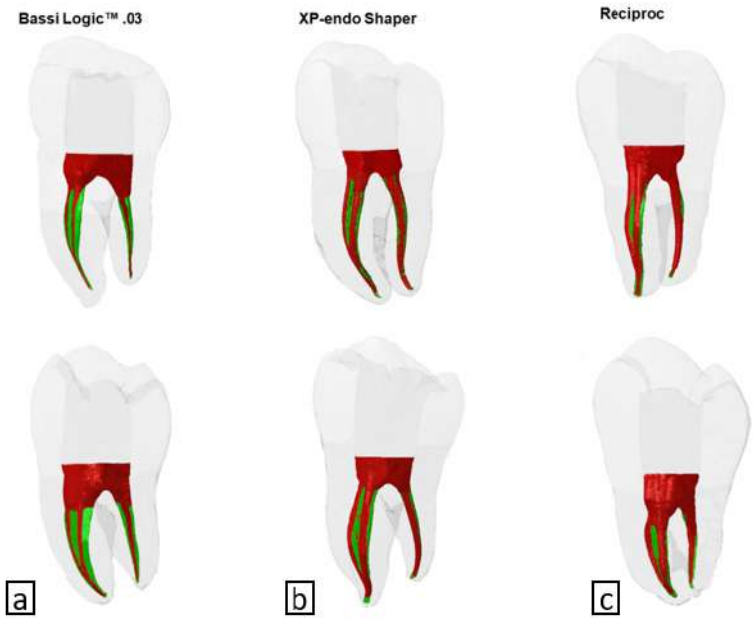

Figure 13 (Lima et al. 2020) : Images au microCT d'une molaire mandibulaire mise en forme au BassiLogic (3% de conicité) (a) ; à l'XP-Endo Shaper (b) et au Reciproc (8% de conicité pour les racines mésiales et 6% de conicité pour les racines distales) (c). Les parties en vert représentent les parois non instrumentées.

Bien que l'XP-Endo Shaper ait une conicité faible de 1% pouvant s'étendre jusqu'à 4%, il permet une mise en forme équivalente à celle d'un instrument Reciproc avec une conicité plus importante, et meilleure qu'un instrument en nickel-titane à faible conicité de 3%.

Malgré ces premiers résultats prometteurs, la nouveauté de l'instrument, le manque de recul in vivo incitent à poursuivre les recherches avant de tirer de plus amples conclusions.

Le TRUShape (proposé par Dentsply Sirona, apparu sur le marché en 2015) est un instrument en nickel-titane avec un alliage spécifique et traité thermiquement afin de permettre le meilleur respect tridimensionnel du canal. Tous les instruments TRUShape ont une section transversale triangulaire symétrique, et sont disponibles en 4 tailles différentes, avec des diamètres apicaux de 20/100^{e} de mm, 25/100^{e} de mm, 30/100^{e} de mm et 40/100^{e} de mm (Peters et al. 2015).

L'instrument présente une courbure en S, et une conicité de 6% ; mais étant donné cette forme en S, sa conicité est considérée comme variable, et régressive le long de l'instrument en direction coronaire depuis la pointe.

Le diamètre maximal que l'instrument peut atteindre au cours de son utilisation est de 80/100^{e} de mm. La conicité effective de l'instrument dépend donc du canal instrumenté et de l'enveloppe de mouvement de l'instrument (Peters et al. 2015; Jensen et al. 2019).

Cette morphologie en S le long de son axe longitudinal, est censée lui permettre de maximiser la proportion de surface intra canalaire instrumentée durant la mise en forme (Jensen et al. 2019) (Figure 14).

Figure 14 : Les quatre instruments TRUShape disponibles sur le marché, du diamètre le plus faible au plus élevé de haut en bas.

Source : Dentsply Sirona, « TRUShape 3D conforming file, 20v yellow, 21mm » , 2021

Etant donné le caractère nouveau de l'instrument, et comme pour l'XP-Endo Shaper, on dispose de peu de recul in vivo.

Certaines études in vitro au microCT mettent en évidence un pourcentage plus élevé de parois touchées par rapport à un instrument rotatif en nickel-titane classique (Jensen et al. 2019),

d’autres ne mettent pas en évidence une différence significative au niveau du pourcentage de paroi instrumenté par rapport à d’autres instruments rotatifs couramment utilisés (Versiani et al. 2013; Zuolo et al. 2018) (Figure 15).

D’autres études encore démontrent un centrage légèrement meilleur par rapport à la morphologie du canal et une préservation de la dentine plus importante (Peters et al. 2015; Arias et al. 2018) (Figure 16).

Enfin, certaines études démontrent une légère supériorité de l’XP-Endo Shaper sur le TRUShape en terme de proportion de surface intra-canalaire instrumentée (Silva et al. 2018; Machado et al. 2019).

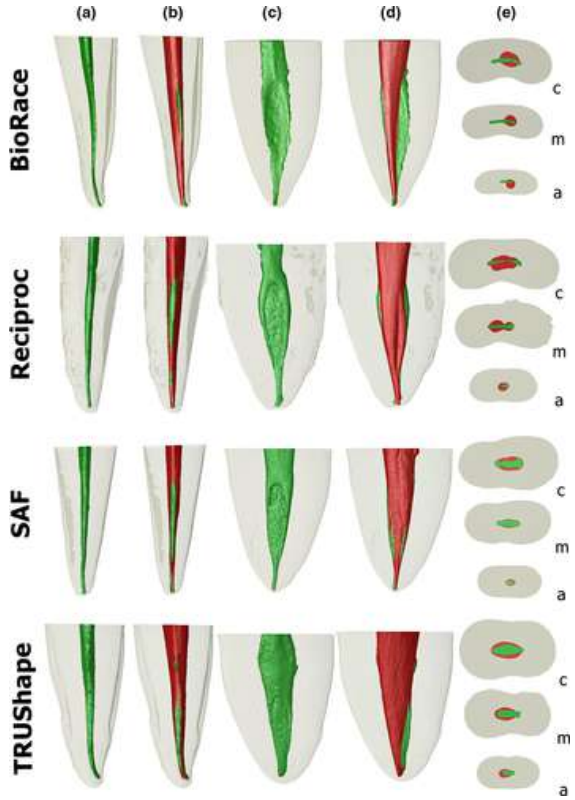

Figure 15 (Zuolo et al. 2018) : Images au microCT longitidunales (à gauche) et transversales (à droite), au tiers coronaire (c), moyen (m) et apical (a), comparant la proportion de surfaces instrumentées.

Le TRUShape présente un résultat intermédiaire en terme de parois canalaires instrumentées compartivement aux trois autres instruments de mise en forme utilisés pour la comparaison, qui sont le BioRace, le Reciproq et le SAF (Self Adjusting File).

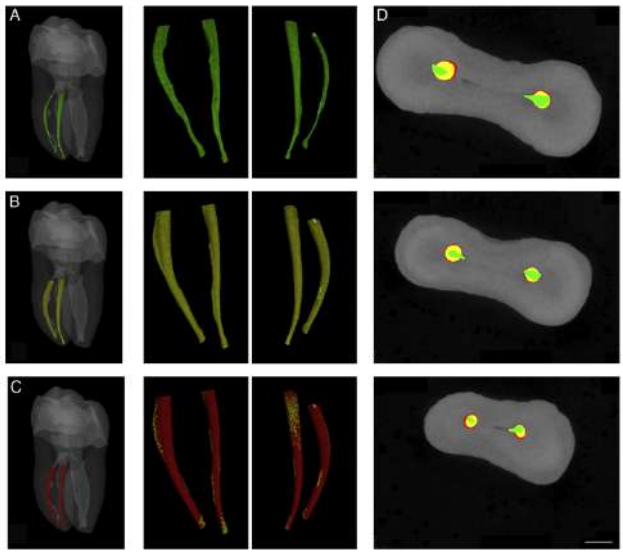

Figure 16 (Peters et al. 2015) : Comparaison au microCT entre des canaux mésiaux de molaire instrumentés au Vortex Blue (canal de gauche) et au TRUShape (canal de droite).

On retrouve les canaux avant instrumentation (A), et après instrumentation avec les instruments à 20/100^{e} de mm (B) puis 30/100^{e} de mm de diamètre (C). On observe une meilleure préservation de la dentine avec le TRUShape.

Le TruNatomy (fabriqué par Dentsply Sirona, mis sur le marché en 2019) a lui aussi été conçu dans une optique de préservation de la dentine lors de la mise en forme endodontique.

Il se présente sous la forme de cinq instruments de mise en forme mécanisés (Figure 16), avec une conicité continue et permettrait de préserver au mieux la dentine péri-cervicale (Vorster 2019).

L'instrument est fabriqué avec un alliage de nickel-titane qui a subi des modifications thermiques lui conférant une « super élasticité ». Il présente également une mémoire de forme moins élevée que la moyenne, ce qui permet de mieux suivre la forme naturelle du canal. Cela permet aussi une insertion plus simple dans des canaux pour lesquels l'accès en ligne droite n'est pas garanti, car il est possible de légèrement pré-courber l'instrument grâce à sa meilleure mémoire de forme.

Parmi les cinq instruments disponibles (Figure 17), on retrouve d'abord le TruNatomy Orifice Modifier qui possède un diamètre à la pointe de 20/100^{e} de mm et une conicité de 8%. Il est utilisé pour agrandir l'orifice canalaire tout en préservant le plus de dentine péri-cervicale. Son

plus faible diamètre et le fait qu'il n'ait besoin de que deux ou trois mouvements peu amples pour agrandir l'orifice le rendent plus conservateur qu'un ProTaper Sx, par exemple (Vorster 2019).

Le second instrument est le TruNatomy Glider disponible en trois longueurs (21,25 et 31mm). Il possède un diamètre à la pointe de 17/100^{e} de mm avec une conicité continue régressive de 2% en direction coronaire depuis la pointe, ce qui lui assure un diamètre maximal de 0.8mm lors de son utilisation. Une fois l'orifice canalaire ouvert, il va permettre d'assurer la création d'un « *glide path* » pour pouvoir utiliser convenablement l'instrument de mise en forme.

Enfin, les trois derniers instruments permettent d'effectuer la mise en forme. Le premier, le Prime shaping file, possède un diamètre à la pointe de 26/100^{e} de mm et une conicité décroissante de 4%.

Le second, le Medium shaping file, possède un diamètre de 36/100^{e} de mm à la pointe et une conicité dégressive de 3%.

Le troisième et dernier instrument de mise en forme, le Small shaping file, possède un diamètre à la pointe de 20/100^{e} de mm et une conicité dégressive de 4%. (Vorster 2019)

Figure 17 (Vorster 2019) : Les différents instruments du set TruNatomy, avec, de haut en bas : le TruNatomy Orifice Modifier, le TruNatomy Glider, le TruNatomy Prime shaping file, le TruNatomy Medium shaping file et le TruNatomy Small shaping file.

Etant donnée la sortie récente des instruments TruNatomy, il existe à ce-jour peu d'études in vitro comparant ses propriétés à d'autres instruments déjà sur le marché.

Une première étude in vitro en 2020 (Peters et al. 2020) a mis en évidence une meilleure résistance à la fatigue et à la torsion du TruNatomy en comparaison au ProTaper Next. Une autre étude in vitro au microCT en 2021 (Pérez Morales et al. 2021), a mis en évidence une meilleure capacité pour le TruNatomy, mais aussi l'XP-Endo Shaper, de préserver la forme originelle du canal mis en forme (Figure 18).

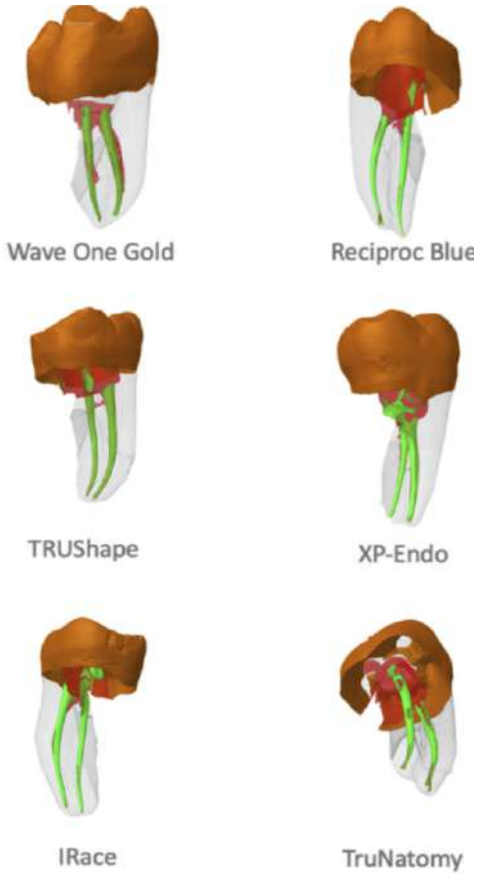

Figure 18 (Pérez Morales et al. 2021) : Ces images au microCT permettent de mettre en évidence les zones instrumentées (en vert), et les zones non instrumentées (en rouge), des canaux traités avec différents instruments en nickel-titane (Wave One Gold, Reciproq Blue, TRUShape, XP-Endo Shaper, IRace et TruNatomy).
L'XP-Endo Shaper et le TruNatomy sont les instruments ayant touchés proportionnellement le moins de surface mais ayant le mieux respecté l'anatomie canalaire originale.

Il apparait donc évident que d'avantage de recherches sont nécessaires pour permettre d'évaluer la qualité de la mise en forme et les traitements réalisés par ces instruments plus flexibles et plus fins ; mais aussi pour mettre en évidence la préservation dentinaire et la capacité de centrage canalaire, ainsi que l'impact sur le taux de survie de la dent dépulpée.

Il est difficile de concevoir des instruments permettant la préparation totale et uniforme des parois canalaires, tant celles-ci peuvent varier dans leur section transversale. Associer la mise en forme à une désinfection intra-canalaire rigoureuse est donc indispensable.

Il apparait cependant cohérent, avec l'évolution de l'odontologie vers des thérapeutiques moins invasives, d'également prendre en compte la préservation tissulaire lors de la mise en forme endodontique.

C'est à partir de cette philosophie que des instruments tels que l'XP-Endo Shaper, le TruShape ou encore le TruNatomy ont été mis au point. Le but est de s'éloigner de la conception originelle de l'instrument endodontique à forte conicité, pour essayer de mieux respecter la morphologie tridimensionnelle du canal. L'objectif n'est plus d'imprégner le canal de la forme de l'instrument, mais plutôt d'obtenir un instrument qui respecte la forme naturelle du canal.

Cependant, étant donnée la nouveauté de la conception « d'endodontie minimalement invasive », il faudrait davantage de recul in vitro et in vivo sur ces nouvelles techniques et instruments. Bien que prometteuses, les études à disposition sont récentes et ne sont pas toutes unanimes. L'impact de ces nouvelles techniques de mises en forme sur la qualité à long terme du traitement doit être éprouvé davantage.

L'important réside donc dans la capacité de compromis du praticien, qui doit s'adapter à chacune des situations cliniques, en tentant de préserver au maximum les tissus dentaires sans compromettre la qualité finale du traitement endodontique.

2.3.4. Obturation : Silicates de calcium dans la démarche minimalement invasive.

L'évolution en endodontie n'a pas épargné les matériaux d'obturation canalaire. En toute logique, la démarche minimalement invasive s'étend de la cavité d'accès, en passant par l'instrumentation, jusqu'aux techniques d'obturation. La tendance actuelle semble se pencher vers l'utilisation des biomatériaux, qui pourraient remplacer les techniques traditionnelles de compactage de la gutta-percha ; pour lesquelles la résorption du ciment de scellement représente la contrainte majeure.

Depuis plus d'une dizaine d'années, on constate une recrudescence de l'emploi en endodontie de la seconde génération de biocéramiques, les silicates de calcium. Considérés comme des matériaux d'obturation à part entière, ils permettent de revisiter la technique « monocône », peu efficace et peu fiable, pour palier à certains de ses défauts. (Simon et Flouriot 2016).

D'abord utilisées dans le champ médical de l'orthopédie, on retrouve également les biocéramiques appliquées à l'art dentaire. Selon le type de céramique utilisée et de son l'interaction avec l'hôte, elles peuvent être réparties en trois catégories (Best et al. 2008) :

- Les céramiques bio-inertes qui n'interagissent pas avec le système biologique de l'hôte.

- Les céramiques biodégradables, solubles ou résorbables, qui remplacent ou s'incorporent au sein d'un tissu.

- Les céramiques bioactives qui déclenchent ou stimulent un processus biologique au sein du tissu avec lequel elles sont mises en contact ; parmi lesquelles on retrouve la famille des silicates de calcium, utilisés en tant que matériaux d'obturation endodontique (Trope et al. 2015).

Les silicates de calcium utilisés en endodontie présentent une excellente biocompatibilité, ne sont pas toxiques ni solubles dans les liquides biologiques, et ne présentent pas de rétraction de prise, contrairement aux traditionnels ciments d'obturation (Trope et al. 2015).

Le premier silicate de calcium utilisé en tant que matériau d'obturation endodontique a été le MTA. Il est composé de silicate tricalcique, de silicate dicalcique, et d'aluminium tricalcique.

La radio opacité est obtenu par l'adjonction d'oxyde de bismuth. Le matériau existe sous deux formes, grise et blanche (Jitaru et al. 2016).

Les deux types de MTA contiennent certains métaux lourds à l'origine d'une pigmentation dentinaire. Le MTA est également complexe à appliquer dans des canaux étroits. De nouvelles compositions chimiques ont été élaborées pour palier à ces manques, mais elles ont eu une incidence sur les caractéristiques physiques et mécaniques du matériau et donc ses performances (Trope et al. 2015).

Plusieurs silicates de calcium ont été proposés sur le marché depuis, et permettent de palier à ces problèmes, parmi lesquels le BioRoot (commercialisé par la société Septodont). Il s'agit d'un silicate de calcium qui présentent des propriétés bioactives (Figure 19) en stimulant le processus lié la physiologie osseuse et la minéralisation de la structure dentinaire (Camps et al. 2015).

Le BioRoot offre donc un environnement favorable à la cicatrisation péri apicale, par les propriétés bioactives décrites, mais aussi son pH alcalin et ses propriétés de scellement.

Il faut donc considérer le silicate de calcium comme un matériau d'obturation à part entière et non pas comme un « simple » ciment de scellement. (Simon et Flouriot 2016).

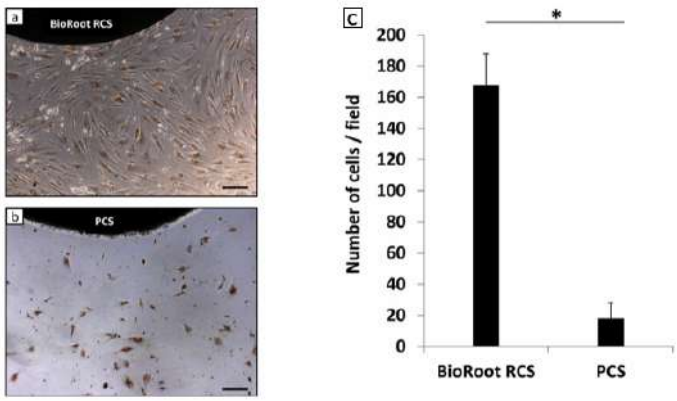

Figure 19 (Camps et al. 2015) : Comparaison de la prolifération cellulaire au niveau péri-apical, en contact avec du BioRoot (a) et du Pulp Canal Sealer (b), un ciment de scellement à base d'oxyde de zinc-eugénol. On remarque sur le graphique (c), un nombre de cellules jusqu'à 8 fois supérieur en présence de BioRoot.

Jusqu'à présent, la technique d'obturation représentant le « gold standard » en endodontie reposait sur l'utilisation de gutta-percha associée à un ciment de scellement. Cependant, la gutta-percha ne présente pas d'adhésion aux parois dentinaires. (Schilder 1967; Whitworth 2005; Trope et al. 2015).

Il est conseillé d'utiliser un maximum de gutta-percha pour un minimum de ciment de scellement, car ces derniers sont sujets à une rétraction de prise et à une dégradation avec le temps, et présentent également une certaine instabilité chimique en contact avec les tissus biologiques ; contrairement à la gutta-percha (Trope et al. 2015).

Les deux techniques conventionnelles de condensation latérale à froid et de compaction verticale à chaud, présentent aussi leurs limites. Pour la première, les irrégularités canalaires et les canaux latéraux ne sont pas obturés par de la gutta-percha chaude, mais par un ciment de scellement froid dont on connaît la dégradation avec le temps. La seconde, quant à elle, implique de pouvoir placer un fouloir à moins de 5mm de l'apex de la dent, ce qui implique une pression sur les parois canalaires et un large retrait de tissus dentinaires pour obtenir la conicité adéquate (Trope et al. 2015; Simon et Flouriot 2016).

Les propriétés des silicates de calcium décrites précédemment, c'est-à-dire leur biocompatibilité, leur bioactivité, l'absence de rétraction de prise, mais aussi leur compatibilité avec les fluides biologiques, permettent de revisiter la technique d'obturation dite « monocône », en utilisant le silicate de calcium comme un véritable matériau d'obturation, et le cône, comme un tuteur (Trope et al. 2015). Cela permet ainsi de palier aux défauts originels de la technique « monocône » lorsqu'elle est utilisée avec de la gutta-percha et un ciment de scellement classique.

Ce nouveau protocole pour la technique « monocône revisitée » consiste donc à (Bukiet et Giraud 2020) :

- Essayer et ajuster le maître cône comme pour les techniques d'obturation classiques, puis, après désinfection, sécher convenablement le canal sans déshydrater la dentine.
- Mettre en place le silicate de calcium en privilégiant, soit un embout d'injection pour les produits prémixés, soit l'utilisation d'un bourre-pâte à vitesse lente pour les produits nécessitants un mélange manuel.

- Insérer lentement et de manière continue le maître-cône à la longueur de travail ; si l'anatomie canalaire le nécessite, il est possible d'insérer d'autres cônes de gutta-percha.
- Sectionner à chaud le ou les cônes de gutta-percha au niveau de l'entrée canalaire et procéder à une condensation de la gutta-percha à l'aide d'un fouloir.
- Retirer finalement les excès de ciment présents au niveau de la cavité d'accès et réaliser la restauration coronaire temporaire.

On compte au moins une dizaine de silicates de calcium utilisés en tant que matériaux d'obturation endodontique disponibles sur le marché. Une revue de littérature récente (Šimundić Munitić et al. 2019) basée sur plus de 37 études, semble confirmer l'efficacité de l'activité antimicrobienne de ces matériaux. Ils présentent également une biocompatibilité et une bioactivité ainsi qu'une capacité à induire une minéralisation (Al-Haddad et Che Ab Aziz 2016). Cependant, la grande hétérogénéité entre les protocoles de ces différentes études empêche de confirmer la plus grande efficacité de l'un de ces matériaux sur l'autre, et de les comparer de manière précise.

Concernant la capacité de retraitement, une revue de littérature récente (Zhekov et Stefanova 2020) souligne qu'il est a priori possible de nettoyer en grande partie le canal à l'aide d'ultrasons ou de solvants comme le chloroforme ou l'endosolv, et un peu plus difficilement à l'aide d'instruments mécanisés ou manuels.

Les silicates tricalciques promettent donc un changement de paradigme dans la façon de concevoir l'endodontie, et permettent également de répondre à certains impératifs du concept « d'endodontie minimalement invasive ».

Pour autant, la mise sur le marché récente de ces matériaux n'invalide pas les principes originaux décrits en 1967 par le Pr. Herbert Schilder, dont de nombreuses études et revues soulignent l'efficacité, et qui ont fait l'épreuve du temps. Ces nouveaux matériaux d'obturation permettent l'évolution de la discipline dans le cadre plus large d'une dentisterie à minima. Cependant, il semble qu'une approche méthodologique uniforme dans l'évaluation de l'efficacité clinique des silicates tricalciques serait bénéfique pour permettre des recommandations pratiques plus claires pour les praticiens.

2.3.5. Les avantages et les inconvénients de la démarche « *MIE* »

« L'endodontie minimalement invasive » découle directement du concept de dentisterie minimalement invasive, apparu il y a moins d'une vingtaine d'années. Elle met en avant l'idée que la profession reconnait une valeur biologique plus importante au tissu dentaire sain qu'à un matériau restaurateur (Gutmann 2013; Gluskin et al. 2014).

« L'endodontie minimalement invasive » vise ainsi à traiter et prévenir les pathologies pulpaires et la parodontie apicale, tout en provoquant le moins d'atteinte tissulaire (Ericson 2004; Nový et Fuller 2008; Gutmann 2013; Gluskin et al. 2014).

Cela ne se résume pas à la réalisation de cavités ninjas, sujettes à controverse en endodontie, mais plutôt à une approche visant à englober tous les aspects de l'art dentaire. Il peut s'agir de s'abstenir de traiter, comme de traiter à minima une lésion carieuse, de réaliser une pulpotomie cervicale en tant que traitement définitif, ou encore de considérer une microchirurgie apicale plutôt que l'extraction de la dent suivie de la pose d'un implant (Gutmann 2013).

Cependant, il n'existe à ce-jour aucun protocole précis concernant « l'endodontie minimalement invasive » (Gluskin et al. 2014).

Cette nouvelle philosophie émerge à la suite de plusieurs constats concernant la dent dépulpée. Pendant des années, les auteurs ont attribué la fragilisation de la dent au traitement endodontique, à cause de la perte hydrique et de la réalisation de la cavité d'accès. Néanmoins, ce serait la perte de tissus dentaires, liée à l'évolution de la lésion carieuse, mais aussi aux différents traitements et mises en forme du clinicien, qui impacterait le plus le taux de survie de la dent dépulpée (Reeh et al. 1989; Huang et al. 1992; Sedgley et Messer 1992; Gluskin et al. 2014).

Le traitement endodontique n'est plus systématiquement mis en cause dans l'échec des dents traitées endodontiquement et l'approche devient multifactorielle (Gutmann 2013; Gluskin et al. 2014).

D'autre part, les instruments utilisés en endodontie se modernisent. Grâce à l'alliage en nickel-titane apparu à la fin des années 1980 et aux différents traitements thermiques et électro-chimiques, les instruments sont plus flexibles, et mettent en forme un pourcentage de parois plus importants (Walia et al. 1988; Haïkel et al. 1998; Shuping et al. 2000; Peters et al. 2020).

Les loupes et le microscope opératoire sont aujourd'hui plus répandus et plus accessibles. Le praticien peut mieux apprécier des zones plus étroites, et le retrait d'une large quantité de tissu dentaire apparait parfois moins nécessaire (Gluskin et al. 2014).

Certains auteurs proposent alors de revisiter les étapes du traitement endodontique pour les rendre moins invasives, tandis que les fabricants proposent de nouveaux instruments de mise en forme moins coniques afin de mieux respecter l'anatomie canalaire.

Cependant, s'il peut sembler opportun de remettre en question certains dogmes « endodontiques » concernant la cavité d'accès et la mise en forme canalaire, il ne faut pas oublier que ces principes originaux ont été éprouvés par les années et de très nombreuses études (Schilder 1967, 1974; Hulsmann et al. 2005; Gutmann 2013; Gluskin et al. 2014).

Clark et Khademi ont proposé, il y a une dizaine d'années, (Clark et Khademi 2010a, 2010b) de réviser les principes dictant la cavité d'accès endodontique idéale, pour la rendre plus économe en tissus dentaires.

Les premières études in vitro comparatives réalisées avec ces cavités d'accès conservatrices semblent soutenir l'idée d'une meilleure résistance mécanique de la dent. Cependant, ces études mettent aussi en avant une difficulté pour instrumenter certains canaux, risquant alors d'affecter la qualité de la désinfection intra-canalaire et donc le traitement endodontique.

De plus, il est souligné le manque de recul sur ces nouvelles cavités d'accès et la nécessité d'un plus grand recul clinique avant de systématiser le recours à ces dernières (Kishen 2006; Krishan et al. 2014; Gaikwad et Pandit 2016; Moore et al. 2016; Makati et al. 2018).

De nouveaux instruments de mise en forme, présentés par leurs fabricants comme plus respectueux de l'anatomie canalaire, sont apparus le marché ces dix dernières années. Bien que la finalité recherchée soit la même, ils ne présentent pas tous le même mode de fonctionnement. Certains fabricants misent sur la flexibilité et la conicité variable de l'instrument, comme le TruShape ou le TruNatomy (Zuolo et al. 2018), d'autres davantage sur la dynamique de mouvement de l'instrument, comme l'XP-Endo Shaper (Machado et al. 2019).

Dans tous les cas, le but est d'augmenter le pourcentage de surface intra-canalaire instrumentée, tout en préservant au mieux la dentine. Si l'XP-Endo Shaper semble être à priori l'un des

instruments qui accomplit le mieux ces nouveaux objectifs à travers les études récentes, elles ne sont pas toutes unanimes.

De plus, le manque de recul sur l'impact de ces instruments sur la qualité de la désinfection et l'amélioration réelle de la résistance mécanique de la dent soulignent la nécessité d'effectuer davantage de recherches sur ces nouvelles techniques d'instrumentation canalaire (Peters et al. 2015; Alves et al. 2016; Azim et al. 2017; Adiguzel et al. 2018; Zuolo et al. 2018; Jensen et al. 2019; Machado et al. 2019; Lima et al. 2020; Pérez Morales et al. 2021)

Enfin, l'utilisation des silicates tricalciques comme matériaux d'obturation permet de servir l'approche endodontique « minimalement invasive », permettant de revisiter la technique « monocône », qui était jusqu'ici la technique d'obturation la moins efficace. Ils sont biocompatibles, bioactifs, antimicrobiens, et ne se dégradent pas avec le temps.

Si les études récentes disponibles semblent confirmer l'efficacité antimicrobienne des silicates tricalciques, ainsi que leur biocompatibilité et leur bioactivité, il est difficile de comparer qualitativement tous ceux disponibles à la vente, car les protocoles varient trop entre les études réalisées. Il en va de même pour les études évaluant les méthodes de retrait du matériau (Camps et al. 2015; Trope et al. 2015; Jitaru et al. 2016; Šimundić Munitić et al. 2019; Zhekov et Stefanova 2020).

Bien que très prometteurs, il apparait ainsi difficile de proposer des recommandations claires pour le praticien.

Diminuer l'atteinte dentinaire autant que possible prend sens puisque l'on sait l'impact direct de la perte de tissus sur la résistance mécanique de la dent. Elle ne doit cependant pas se faire au détriment de la qualité de la désinfection et de l'obturation canalaire qui restent les objectifs principaux du traitement endodontique.

Il appartient donc au clinicien de trouver le juste équilibre entre la nécessité d'un élargissement de la cavité d'accès et des canaux pour permettre une désinfection efficace ; et les conséquences structurelles qu'engendrent la destruction de tissus dentaires sur la résistance mécanique future de l'organe. (Falk et Sedgley 2005; Kishen 2006; Gluskin et al. 2014).

3. Dentisterie restauratrice à minima : restauration de la dent dépulpée.

La dentisterie restauratrice a connu une évolution technique accompagnée par un changement de paradigme. Le concept de dentisterie minimalement invasive, décrit précédemment, s'applique autant à la dentisterie restauratrice qu'à l'endodontie. Ces deux disciplines sont indissociables : c'est le « continuum endo-restaurateur » (Lopez 2004; Ree et Schwartz 2010).

L'objectif principal du traitement endodontique est la désinfection totale du canal et son obturation de la manière la plus étanche possible. Comme décrit précédemment, l'évolution des techniques, des instruments et des matériaux n'influe pas sur cet objectif final.

Cependant, le succès du traitement endodontique dépend également de la qualité du traitement restaurateur qui est mis en place par la suite. Le lien entre les deux disciplines est largement reconnu, mais le débat persiste quant aux meilleures restaurations à mettre en œuvre, tant il existe d'études et de revues sur le sujet (Ree et Schwartz 2010; Carvalho et al. 2018).

De surcroit, l'émergence de plus en plus importante de l'implantologie au sein de la dentisterie moderne met en exergue la nécessité d'une évaluation correcte du pronostic de la dent avant son traitement. Il n'est pas pertinent de réaliser un traitement endodontique sur une dent présentant un pronostic restaurateur mauvais. L'implant présenterait alors un meilleur pronostic (Ree et Schwartz 2010).

Il est donc indispensable de bien évaluer la situation clinique et radiologique de la dent avant de commencer un soin endodontique puis restaurateur.

Les études et revues sur les différentes techniques de restauration des dents dépulpées, et les facteurs influençant leur résistance mécanique sont nombreuses et hétérogènes. Il existe de nombreux critères qui influent sur la pérennité de la restauration ainsi que le maintien sur l'arcade de l'organe dentaire.

L'évolution de la microstructure de la dentine avec le temps, l'impact de la perte de tissus dentaires, le maintien d'un férule suffisant, ou encore la présence d'un logement pour un ancrage radiculaire, sont autant de facteurs qui vont influencer le pronostic du traitement restaurateur (Kishen 2006; Clark et Khademi 2010a; Juloski et al. 2012; Gluskin et al. 2014).

Ces facteurs, pour la plupart corrélés à la perte de tissus dentaires, semblent justifier une approche moins invasive de la dentisterie restauratrice. Cette-dernière a évolué ces dernières années tant au niveau des techniques que des matériaux à disposition du praticien. La simplification des techniques de collage et l'évolution de la qualité et de la fiabilité des adhésifs mis sur le marché, permettent d'envisager une approche moins invasive de la restauration de la dent dépulpée.

Cela permet ainsi de protéger le potentiel restaurateur de la dent, où chaque restauration défectueuse est remplacée par une restauration plus large encore, qui délabre un peu plus les tissus durs de la dent. Restaurer une dent c'est aussi prendre en compte le cycle restaurateur, et envisager les alternatives en cas d'échec (Ree et Schwartz 2010; Carvalho et al. 2018).

Ainsi, pour mieux comprendre les éléments permettant de pérenniser la restauration d'une dent dépulpée, nous analyserons d'abord les facteurs influençant le taux de survie de ces dents, pour ensuite détailler l'évolution des techniques d'adhésion afin d'évoquer les techniques les plus modernes qui servent une approche minimalement invasive.

3.1. Taux de survie d'une dent dépulpée

3.1.1. Classification du succès/échec en endodontie et en dentisterie restauratrice

Pour étudier le succès ou l'échec du traitement endodontique de la dent, il est indispensable d'étudier également le succès ou l'échec du traitement restaurateur mis en place par la suite. Comme montré précédemment, les deux sont intimement liés (Gluskin et al. 2014; Carvalho et al. 2018).

Le succès de la restauration d'une dent traitée endodontiquement ne consiste pas seulement en l'analyse du taux de survie de la dent, mais aussi du potentiel de réparabilité suivant l'échec de la restauration.

On distingue ainsi deux types d'échecs restaurateurs :

- D'abord, l'échec non catastrophique, ou réparable : il peut être de nature cohésive, un défaut d'adhésion, une perte de substance mineure, ou une fissure, un craquement de la structure dentaire sous-jacente.
- Ensuite, l'échec catastrophique, qui implique une fracture coronaire ou radiculaire trop importante, qui entraîne l'extraction de la dent (Juloski et al. 2012; Carvalho et al. 2018).

Nous chercherons à mettre en évidence, au travers d'études réalisées ces vingt dernières années, si un faisceau de causes se dégage pour expliquer l'échec catastrophique des dents dépulpées, c'est-à-dire leur extraction.

3.1.2. Origine des échecs catastrophiques : l'extraction des dents dépulpées

Bien que beaucoup d'études aient été menées sur la microbiologie du succès ou de l'échec d'un traitement endodontique, moins d'études ont porté leur attention sur les causes ayant pu conduire à l'extraction de ces dents en cas d'échec (Carvalho et al. 2018).

A travers six études transversales récentes et hétérogènes, réalisées sur de larges échantillons de dents dépulpées, nous chercherons à mettre en évidence les facteurs récurrents mis en causes dans l'avulsion de ces dents après la constation de l'échec.

Lors d'une étude transversale réalisée en 2018 (Olcay et al. 2018) sur plus de 1000 dents dépulpées, deux endodontistes ont confirmé cliniquement et radiologiquement l'échec du traitement, puis en fonction du pronostic, ont adressé le patient soit pour un retraitement orthograde, soit pour un retraitement chirurgical, soit pour l'extraction de la dent concernée.

Pour la majorité des études que nous analyserons, le praticien en charge des examens a mis en avant une ou plusieurs causes justifiant l'avulsion. On retrouve ainsi des dents extraites pour échec endodontique, pour échec parodontal, pour fracture verticale, pour un défaut au niveau de la restauration coronaire, ou encore à cause de l'incapacité de restaurer à nouveau la dent (Olcay et al. 2018).

Il est intéressant alors d'observer, qu'à travers les différents pays dans lesquels ces études ont été menées, et malgré des méthodologies qui diffèrent, les causes ayant mené à l'extraction de

ces dents se concentrent autour de la perte de substance corono-radiculaire, de la présence d'une fracture verticale, ou encore de la restauration coronaire auparavant réalisée.

Ces études ne mettent pas forcément en cause le traitement endodontique lui-même de manière systématique (Vire 1991; Lazarski et al. 2001; Nagasiri et Chitmongkolsuk 2005; Chen et al. 2008; Tzimpoulas et al. 2012; Olcay et al. 2018).

Une étude prospective d'un an, réalisée en 1991 (Vire 1991) sur 116 dents dépulpées extraites car non conservables, soulignait déjà que l'échec endodontique était l'une des causes les moins récurrentes dans l'avulsion de ces dents. La cause d'avulsion majoritaire était l'échec d'origine prothétique, et plus de la moitié des dents ont été extraites à cause d'une fracture coronaire.

En 2001, une large étude épidémiologique (Lazarski et al. 2001), menée sur plus de 109.000 patients, a étudié le pourcentage de dents extraites après traitement endodontique, en fonction du type de restauration reçu.

Il apparait que lorsqu'aucune restauration n'est placée sur la dent après son traitement endodontique, le taux d'extraction est 4 fois supérieur, passant de 2,54% à 11,21% ; et il est plus nombreux encore pour les molaires.

En 2005, une étude prospective à Taiwan (Nagasiri et Chitmongkolsuk 2005) réalisée sur 220 molaires traitées endodontiquement, a étudié le taux de survie à 5 ans des dents qui ne sont pas restaurées à la suite de leur traitement initial. Ce taux de survie passe de 96% à 1 an à 36% après 5 ans.

L'étude met également en évidence le lien significatif entre la quantité de tissu coronaire restant, le type de restauration mis en place, et la survie à long terme de la dent (Figure 20).

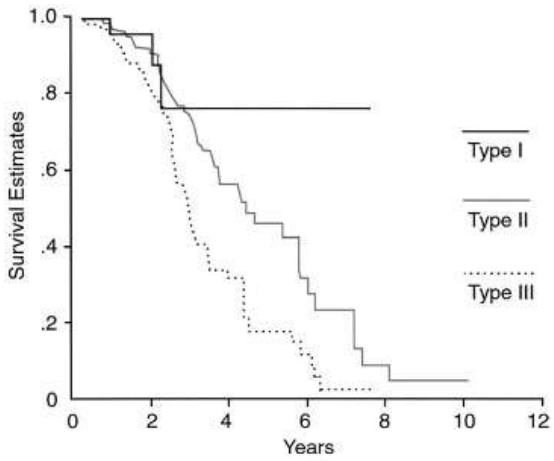

Figure 20 (Nagasiri et Chitmongkolsuk 2005) : Graphique mettant en évidence le taux de survie en fonction de la quantité de tissu dentaire restant. Un Type I présente une perte légère de tissus dentaires ; un Type II présente une perte modérée avec plus de deux parois restantes et au moins 2mm d'épaisseur dentinaire ; un Type III présente une perte importante de tissus dentaires, avec moins de deux parois restantes et moins de 2mm d'épaisseur dentinaire.
Une dent avec un plus faible délabrement présente donc significativement un meilleur taux de survie.

En 2008, une étude épidémiologique (Chen et al. 2008) réalisée à Taiwan, a étudié l'origine de l'extraction de 857 dents dépulpées tirées au hasard parmi un échantillon de 1.588.217 dents. Une fois encore, une faible proportion de dents sont extraites pour raison endodontique (8.6%), mais une large proportion le sont car jugées non restaurables (46,4%), ou parce qu'elles sont fracturées (32,1%).

En 2012, une étude prospective réalisée en Grèce (Tzimpoulas et al. 2012) sur 275 dents traitées endodontiquement met en évidence des causes d'avulsion similaires.

Les dents n'ayant pas reçu de restauration à la suite du traitement endodontique, et plus encore les molaires, sont plus souvent extraites que lorsqu'une restauration adéquate a été mise en place. La perte de tissus dentaires trop importante, ainsi que la fracture verticale, apparaissent comme les causes les plus fréquentes d'extraction de dents dépulpées. L'échec endodontique dans cet échantillon est peu fréquent.

Enfin, en 2018, une étude transversale (Olcay et al. 2018) menée sur plus de 1000 dents dépulpées a étudié les causes ayant conduit à l'échec du traitement.

Les dents les plus extraites étaient les premières molaires mandibulaires. La cause la plus probable ayant conduit à l'extraction était d'origine prothétique (40.8%). Pour le clinicien, il n'était pas possible de réaliser une restauration coronaire car le rapport couronne/racine était trop faible et la perte de substance trop importante.

L'échec endodontique était la 6e cause mise en avant pour l'extraction des dents dépulpées lors de l'étude (Figure 21). La corrélation entre la présence d'une restauration et la survie de la dent dépulpée a également été établie.

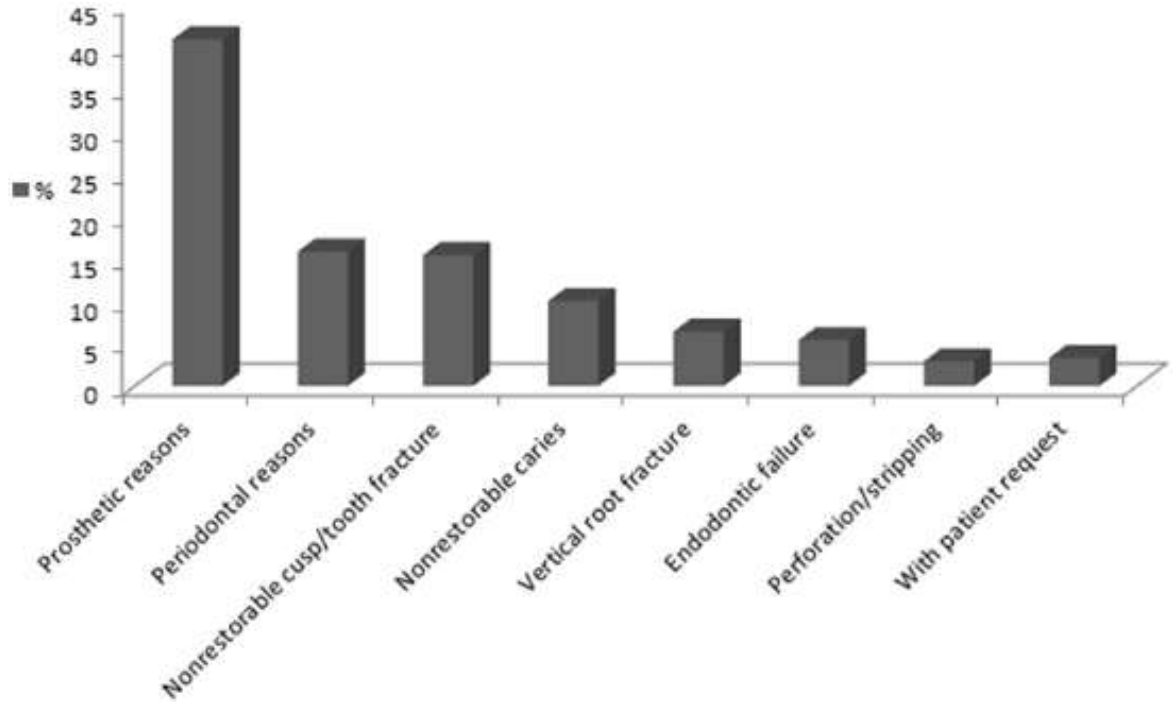

Figure 21 (Olcay et al. 2018) : Graphique représentant, par ordre d'importance, les motifs ayant conduit à l'extraction des dents dépulpées lors de l'étude transversale.

Ainsi, même si ces études n'ont pas été effectuées de manière identique, ni durant la même période, il est intéressant de remarquer que des facteurs similaires à l'origine des échecs catastrophiques apparaissent de manière récurrente.

L'échec à moyen et long terme des dents dépulpées semble peu souvent de nature endodontique, mais plus fréquemment lié à un défaut restaurateur, une perte de tissus dentaires trop importante, ou une fracture coronaire ou corono-radiculaire entrainant l'avulsion de la dent. Il

apparait également nécessaire de mettre en place rapidement une restauration adéquate après le traitement endodontique pour améliorer le taux de survie de la dent dépulpée.

Pendant des décennies, la discipline endodontique s'est beaucoup intéressée à l'aspect microbiologique de l'échec des traitements. Il apparaît judicieux de prendre en compte l'organe dentaire dans sa globalité, en s'intéressant également à la qualité et à la pérennité de la restauration mis en place.

C'est « le continuum endo-restaurateur » : la qualité de la restauration et la perte de tissus dentaires influent également sur la réussite du traitement endodontique.

3.2. Facteurs critiques influençant la survie à long terme de la dent dépulpée

3.2.1. L'évolution de la compréhension biomécanique de la dentine

Au cours des deux dernières décennies, la compréhension du comportement biomécanique de la dentine lors de sa mise en fonction a évolué. Outre sa composition et sa métamorphose avec l'âge, on a pu étudier les mécanismes de propagation des défauts au sein de ce tissu pour mieux comprendre la fracture dentinaire.

Une revue de littérature très exhaustive du début des années 2000 (Kinney et al. 2003) pose les bases d'une nouvelle compréhension de la microstructure dentinaire. En se fondant sur plusieurs études, l'auteur souligne l'importance du collagène et sa contribution dans les propriétés élastiques et viscoélastiques de la dentine.

Cette revue a également mis en avant le rôle des défauts dentinaires, leur propagation, et plus globalement le rôle de la microstructure de la dentine dans la résistance à la fatigue cyclique de la dent. Les défauts au sein de la structure dentinaire réduisent sa capacité à supporter la charge, et donc sa résistance à la fatigue cyclique lorsqu'elle est mise en fonction (Kinney et al. 2003; Arola et al. 2017).

Plusieurs études mettent en avant l'anisotropie de la dentine, c'est-à-dire le fait que la dentine présente une plus faible résistance à la fatigue cyclique lorsque les forces sont dirigées de manière parallèles aux tubuli. Plus précisément, cela est lié à l'orientation des fibres de collagène présentes dans la dentine inter-tubulaire, et leur capacité à résister à la propagation

des fractures grâce à des mécanismes de protection extrinsèques (Figure 24, détaillé en légende) (Arola et al. 2017).

D'autre part, la résistance à la fatigue cyclique est plus faible là où la densité des tubuli augmente, c'est-à-dire proche de la chambre pulpaire. Ainsi, plus la perte tissulaire est proche de la pulpe, plus la résistance mécanique de la dent diminue. Au sein de la dentine profonde, la propagation des défauts a lieu lorsqu'une force 40% plus faible que celle habituellement observée est appliquée (Kinney et al. 2003; Kishen 2006; Arola et al. 2017).

Ainsi, la probabilité d'échec d'une restauration est corrélée à la perte de substance en tissus dentaire. Plus la perte dentinaire est profonde, touchant donc une zone plus dense en tubuli, plus la résistance à la fatigue cyclique de la dent va diminuer. C'est pour cela qu'une détection précoce des lésion carieuses est fondamentale si l'on veut maximiser le taux de survie de l'organe dentaire (Arola et al. 2017).

3.2.2. L'impact de l'âge sur la morphologie de la dentine

Outre la propagation des défauts au sein du tissu dentinaire et les zones de fragilité de la dent, les chercheurs se sont également penchés sur l'évolution qualitative de la dentine en fonction de l'âge.

L'altération de la dentine pour former une dentine plus transparente est un processus commun induit par l'âge. On parle de dentine sclérotique, ou transparente, par opposition à la dentine réactionnelle qui se forme à proximité d'une lésion carieuse.

La phase minérale au sein des tubuli de la dentine sclérotique augmente graduellement avec le temps, en commençant au niveau de l'apex de la dent, pour atteindre la dentine plus coronaire. Les études soulignent que la résistance à la déformation plastique de la dentine sclérotique est réduite, ainsi que sa résistance aux forces tensionnelles. La résistance à la fracture de la dentine sclérotique est réduite d'environ 20% par rapport à la dentine normale (Figures 22, 23, 24) (Kinney et al. 2003; Kishen 2006; Arola et al. 2017).

Il a été suggéré que cette dentine sclérotique, qui apparait naturellement avec l'âge, pourrait être l'une des causes sous-jacentes à l'origine de la fragilité supposée des dents dépulpées.

Il est donc conseillé d'adapter les procédures restauratrices mises en place chez les patients plus âgés, en prenant en compte la baisse de la résistance à la fracture de la dentine sclérotique (Arola et al. 2017).

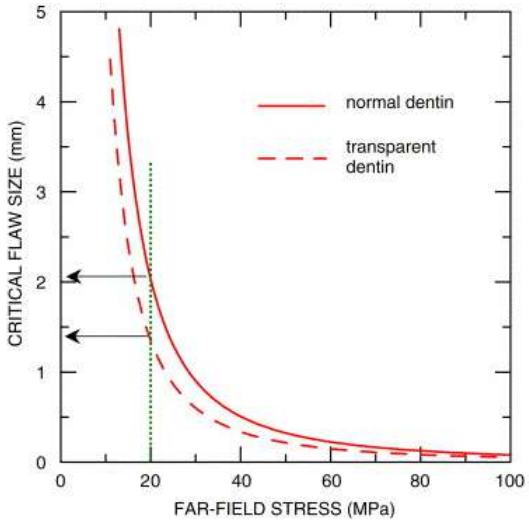

Figure 22 (Kinney et al. 2005) : Graphique comparant la taille critique d'un défaut en fonction de la force appliquée sur la dentine, normale (trait plein) ou sclérotique (pointillé).

On remarquera la réduction de 33% de la taille du défaut nécessaire pour conduire à un échec, pour un stress physiologique de 20MPa. Cela correspond au stress de référence subie par une dent en mastication.

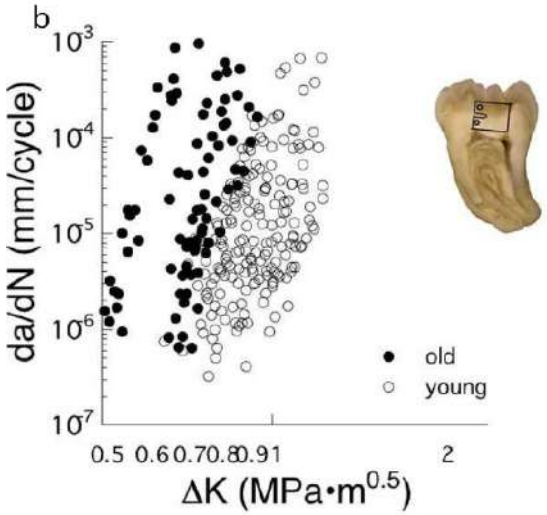

Figure 23 (Kinney et al. 2005) : Schéma comparant la croissance de propagation des défauts au sein de tissu dentinaire provenant d'une dent jeune (<30 ans, cercles noirs) et d'une dent plus âgée (>55 ans, cercles blancs).

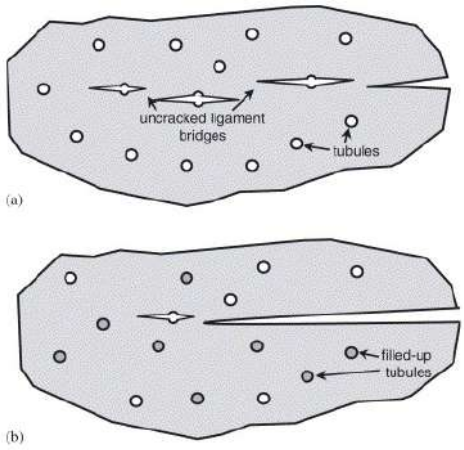

Figure 24 (Kinney et al. 2005): Schémas illustrant les différences au niveau des mécanismes de fracture au sein de la dentine normale (a) et de la dentine sclérotique (b).

Au sein de la dentine normale, la formation de ponts ligamentaires intactes entre les différentes micro-craquelures permet d'augmenter la résistance mécanique dentinaire en dispersant une partie de la charge occlusale subie.

En revanche, puisque les tubuli de la dentine sclérotique sont obturés car minéralisés, ces ponts ligamentaires sont peu nombreux, et le défaut s'agrandit plus rapidement avec les charges occlusales successives.

En comprenant mieux la microstructure de la dentine, l'influence de l'âge sur la résistance de la dent aux forces masticatoires, et les mécanismes mis en jeu lors de la création de défauts ; on peut ensuite étudier les facteurs macro mécaniques qui influencent le taux de survie de la dent dépulpée.

3.2.3. L'influence de la perte de tissus dentaires

Certains facteurs pouvant diminuer la résistance mécanique de la dent ne sont pas contrôlables par le praticien. Il s'agit de la perte de substance liée à la lésion carieuse, du rapport entre la couronne et la racine, de la taille de la dent, de sa localisation anatomique, du nombre de racines dont elle dispose, ou encore du vieillissement naturel du tissu dentinaire qui vient d'être évoqué (Tang et al. 2010). D'autres facteurs influant sur sa résistance mécanique sont en revanche plus contrôlables par le clinicien.

Le traitement endodontique d'une dent entraine le retrait du paquet vasculo-nerveux qui la compose. Cela s'accompagne par une perte de l'eau libre au sein de la dentine, ce qui a longtemps nourri l'idée d'une fragilité intrinsèque des dents dépulpées, les disposant à un plus grand risque de fracture. Si l'eau libre joue en effet un rôle dans la viscoélasticité de la dentine, sa perte peut apparaitre négligeable face aux conséquences des pertes de substances liées à la lésion carieuse ou aux procédures restauratrices (Kishen 2006; Tang et al. 2010).

De nombreuses études réalisées au cours de ces deux dernières décennies ont permis de mieux déterminer les facteurs de risques à l'origine de la fracture des dents dépulpées. Etant donné le nombre important d'études disponibles, il apparait plus judicieux d'analyser les revues de littérature qui synthétisent les facteurs de risques récurrents mis en avant dans le cadre d'un échec catastrophique (Kishen 2006; Dietschi et al. 2007, 2008; Tang et al. 2010; Arola et al. 2017).

Les causes iatrogènes de fractures les plus fréquentes sont liées à la perte de tissus dentaires lors d'un traitement, et aux effets des procédures restauratrices sur les tissus restants (Kishen 2006). L'important serait de minimiser la perte de tissu dentaire lors des différents traitements, d'avantage encore au niveau de la zone cervicale de la dent (Dietschi et al. 2007).

Plusieurs études ont montré que la perte hydrique liée au traitement endodontique réduit la rigidité de la dent de seulement 5% là où une cavité MO, DO ou MOD, qui détruit les crêtes marginales, réduit la rigidité de la dent de 14% à 44% et de 20% à 63%, respectivement (Reeh et al. 1989; Sedgley et Messer 1992; Kishen 2006; Jose et al. 2020).

L'instrumentation canalaire et l'obturation subséquente semblent avoir un impact moins important sur la résistance à la fracture de la dent. Les études sur les éventuels effets délétères des instruments en nickel-titane ne sont pas conclusives, et toutes ne mettent pas en avant de manière significative une propagation des défauts au sein de la dentine radiculaire lors de l'instrumentation canalaire (Tang et al. 2010).

L'utilisation d'irrigants et de solvants, comme l'hypochlorite de sodium ou l'EDTA, ont également un impact par leur action chimique, sur la résistance mécanique de la dent.

Cependant, leur nécessité dans la qualité du traitement endodontique a été prouvée dans la première partie de cet essai (Bronnec et al. 2010; Tang et al. 2010).

L'intérêt de la préservation de la dentine péri-cervicale a également été mise en avant dans la première partie de cet essai. Il s'agit de la dentine qui se trouve 4 mm au-dessus et au-dessous de la crête alvéolaire. Elle joue un rôle important dans la résistance mécanique de la dent. Elle permet en effet le transfert des forces occlusales appliquées sur la dent vers la racine, mais aussi le maintien du férule, dont nous allons évoquer la nécessité par la suite (Clark et Khademi 2010a; Gaikwad et Pandit 2016; Jose et al. 2020).

La question de la préservation du « *soffit* » est également posée par certains auteurs, car cela permettrait de préserver d'avantage les parois latérales de la cavité d'accès endodontique. Cependant, plus de recherches sont nécessaires afin d'évaluer l'impact réel de sa préservation sur la qualité du traitement endodontique et les bénéfices mécaniques pour la dent (Kishen 2006; Gaikwad et Pandit 2016; Jose et al. 2020).

3.2.3.1. L'effet férule

L'effet produit par un férule suffisant lors de la restauration de la dent dépulpée est un facteur protecteur souvent mis en avant à travers les études réalisées ces dernières années.

Le férule est l'anneau circonférentiel de paroi dentinaire qui se retrouve cerclé par la limite cervicale de la couronne prothétique (Figure 25) (Juloski et al. 2012; Naumann et al. 2018).

Il est intéressant de considérer le férule dans les trois plans de l'espace. La première composante du férule est verticale, c'est le férule traditionnellement décrit dans la littérature. La deuxième composante du férule est l'épaisseur de dentine résiduelle. La troisième, enfin, est la convergence occlusale, c'est-à-dire la convergence des parois opposées de la dent préparée dans un plan donné (Kishen 2006; Jose et al. 2020).

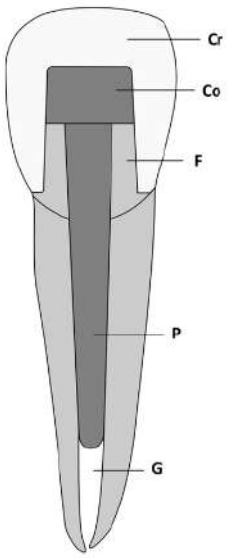

Figure 25 (Juloski et al. 2012) : Schéma d'une dent restaurée à l'aide d'un ancrage radiculaire (P) et d'une couronne (Cr). La paroi dentinaire circonférentielle (F) permet de fournir l'effet férule.

L'importance du maintien d'un férule suffisant est primordial pour le taux de survie des dents dépulpée. Ce maintien permet une meilleure résistance aux forces occlusales et améliore la résistance à la fracture de la dent. En effet, pendant la mastication, les forces en tension et en compression sont maximales au niveau de la surface externe de la racine, et au niveau de la crête alvéolaire, là où se trouve la dentine péri-cervicale (Kishen 2006; Juloski et al. 2012; Naumann et al. 2018).

De nombreuses études ont été réalisées sur la hauteur idéale de dentine circonférentielle nécessaire pour constater un effet mécanique bénéfique. Deux revues de littératures exhaustives, basées sur plus d'une dizaine d'études in vitro et prospectives, préconisent l'obtention d'une paroi dentinaire d'au moins 1mm de hauteur, mais préférentiellement de 2mm, pour améliorer significativement la résistance mécanique de la dent.

L'épaisseur minimale de dentine qui aurait un impact bénéfique sur la résistance mécanique de la dent serait d'au moins 1mm (Juloski et al. 2012; Naumann et al. 2018).

Si la perte de substance liée à la lésion carieuse est trop importante, les études à moyen et long terme montrent qu'un férule quasiment circonférentiel, d'au moins 1.5mm, serait bénéfique sur le taux de survie de la dent (Figure 26).

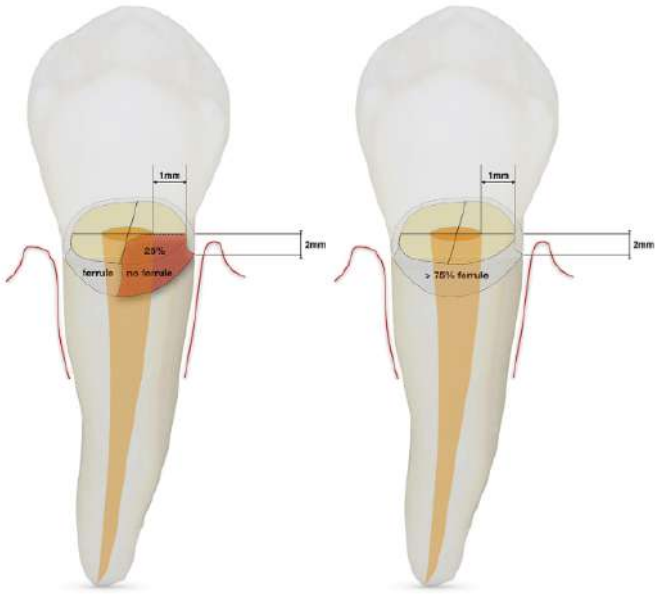

Figure 26 (Naumann et al. 2018) : Préservation d'un férule quasi-circonférentiel de 75%, d'environ 1mm de large et 2mm de hauteur.

3.2.3.2. L'impact de la mise en place d'un ancrage radiculaire

La mise en place d'un ancrage radiculaire apparait nécessaire lorsque la perte de substance d'une dent est trop importante. Il permet d'obtenir une rétention additionnelle pour la future restauration coronaire.

Cependant un ancrage radiculaire n'augmente pas la résistance mécanique d'une dent, et parfois, une mauvaise préparation de l'espace intra-canalaire destiné à recevoir l'ancrage peut se traduire en un retrait de tissu dentinaire excessif. De plus, il existe un risque de perforation radiculaire, ou d'une perte de l'étanchéité apicale si trop de matériau d'obturation est retiré (Dietschi et al. 2008; Tang et al. 2010).

Les études ont montré qu'il faudrait un bouchon apical de gutta-percha d'au moins 4 à 5mm pour maintenir l'étanchéité de l'obturation endodontique (Tang et al. 2010).

Lorsqu'une dent est restaurée par une couronne et un ancrage radiculaire, il y a également une altération du schéma de distribution classique du stress au sein de la dent. Certaines régions, comme l'extrémité apicale et la région cervicale, subissent un stress en tension plus important (Kishen 2006; Tang et al. 2010).

Avec l'évolution de la dentisterie adhésive, et la démonstration de l'effet bénéfique d'un férule d'au moins 2mm sur la résistance mécanique de la dent, certains auteurs remettent en question le recours systématique à un ancrage radiculaire. Certaines dents disposant d'un férule suffisant ont été restaurées sans ancrage radiculaire, mais avec un *core* en résine. Cette technique permettrait de mieux se rapprocher de la structure biomécanique d'une dent naturelle quant à la distribution du stress (Carvalho et al. 2018).

Cependant, les études ne sont pas unanimes et ne mettent pas toutes en avant l'idée qu'une restauration sans tenon présenterait un meilleur taux de survie pour une dent dépulpée. (Carvalho et al. 2018)

Ainsi, si le type de restauration à mettre en place sur une dent dépulpée continue de faire débat, certains facteurs protecteurs, eux, permettent d'améliorer le taux de survie de la dent, indépendamment de la restauration choisie.

Il semble que la perte de vitalité pulpaire ait une influence plus faible sur la résistance mécanique de la dent dépulpée que la préservation des structures dentaires. Cette préservation semble également réduire le risque d'échec catastrophique. Avec l'évolution de la dentisterie adhésive et l'émergence de « l'endodontie minimalement invasive », il apparait judicieux d'étudier une approche plus conservatrice en tissus dentaire lors des traitements restaurateurs, pour permettre d'améliorer le taux de survie des dents dépulpées (Gluskin et al. 2014; Carvalho et al. 2018; Jose et al. 2020).

3.3. L'utilisation du collage pour permettre une restauration à minima

3.3.1. L'évolution des systèmes de collage

Les adhésifs utilisés en dentisterie restauratrice ont fait l'objet de transformations substantielles au cours de ces 40 dernières années. L'objectif reste toujours de créer une adhésion durable à la dentine en utilisant des monomères résineux (Perdigão et al. 2021).

L'évolution des matériaux adhésifs a également permis de révolutionner de nombreux aspects de la dentisterie restauratrice. La réalisation des cavités d'accès, que ce soit pour l'endodontie mais aussi lors d'une éviction carieuse, ne dépend plus d'exigences de rétention mécanique.

Ces nouvelles techniques d'adhésion, plus simples et rapide à mettre en œuvre, mais aussi plus conservatrices, permettent de servir l'approche minimalement invasive précédemment décrite (Carvalho et al. 2018; Perdigão et al. 2021).

Les adhésifs disponibles sur le marché sont classés le plus souvent par la façon dont ils interagissent avec le *smear layer*. Il s'agit de la couche de débris résiduels retrouvée en surface de la dentine qui vient d'être fraisée (Sofan et al. 2017).

On distingue ainsi plusieurs types d'adhésifs en fonction cette interaction (Figure 27) (Elkaffas et al. 2018; Perdigão et al. 2021)

- Les systèmes de « mordançage et rinçage » ou *« etch-and-rinse » (E&R)* : ils reposent sur un retrait total du *smear layer*. On effectue pour cela un mordançage à l'acide phosphorique de l'émail et la dentine. Ces adhésifs existent en deux ou trois étapes. Les *E&R* en deux étapes sont composés d'un mordançant et d'une solution qui sert à la fois de primer et de résine adhésive hydrophobe. Les *E&R* en trois étapes, quant à eux, sont composés d'un primer et d'une résine adhésive hydrophobe distribués séparément.
- Les systèmes « auto-mordançant » ou *« self-etch » (SE)* : ils reposent sur l'incorporation du *smear layer* à la couche adhésive tout en décalcifiant légèrement la couche superficielle de la dentine. Ces adhésifs existent en une ou deux étapes. Les *SE* en deux étapes sont composés d'un primer acide qui n'est pas à rincer et d'une résine adhésive hydrophobe. Les *SE* à une étape contiennent tous ces composants dans une seul flacon.
    - L'importance de la décalcification dépend de l'acidité du primer utilisé. On retrouve ainsi quatre classes de primer différents en fonction de leur pH : les *ultramild* ($pH \geq 2.5$), les *mild* ($pH \approx 2$), les *intermediately strong* ($1 < pH < 2$), et les *strong* ($pH < 1$)
- Enfin, on retrouve les adhésifs multimodaux : ils reposent sur une combinaison de ces deux précédentes techniques, avec parmi eux les adhésifs universels, que nous détaillerons par la suite.

Contemporary Dental Adhesive Systems					Characteristics			Longevity
System Mode	Delivery	Adhesion Steps			Acidity	Hydrophilicity	Bond Stability[b]	
		Etching	Primer	Adhesive				
Etch-and-rinse	3-step				+	+	+ + + +	Stability ↑ Degree of Conversion Solvent Evaporation ↓ Acidity Hydrophilicity ↓ Degradation
	2-step				+ +	+ +	+ + +	
Self-etch	2-step				+ + +	+ +	+ + + +	
	1-step				+ + + +	+ + +	+	
Universal	1 or 2 steps[a]				+ + +	+ +	+ (+) +	

Figure 27 (Bedran-Russo et al. 2017) : Tableau décrivant les différents types d'adhésifs disponibles sur le marché, selon le mordançage, l'acidité, l'hydrophilie, et la stabilité de l'adhésion obtenue.

Le collage à la dentine nécessite la prise en compte de facteurs propres à ce tissu, et diffère de l'émail. En effet, la dentine est intrinsèquement humide et moins dure que l'émail, avec des forces intermoléculaires et une énergie de surface plus faibles (Sofan et al. 2017) (Figure 28).

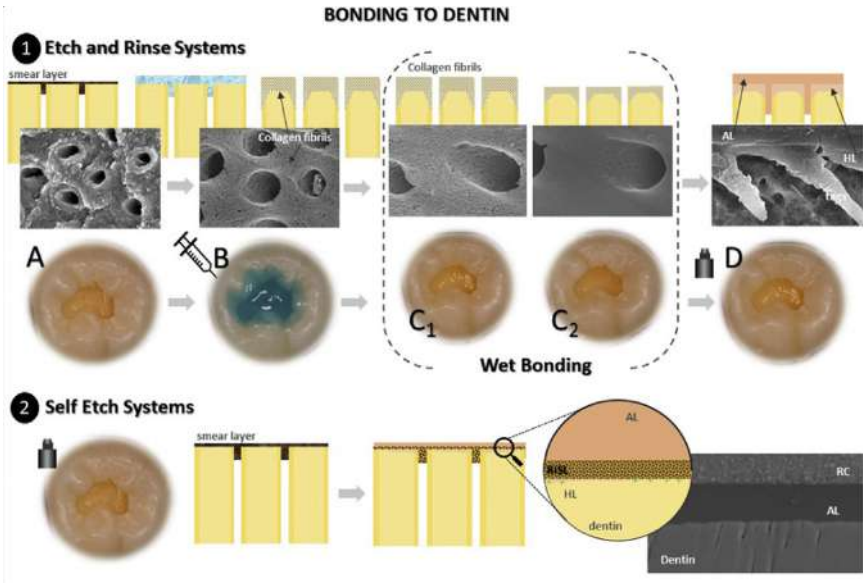

Figure 28 (Bedran-Russo et al. 2017) : Mécanismes d'adhésion à la dentine en fonction de l'adhésif utilisé, soit « mordançage et rinçage » (1) ou « auto-mordançant » (2). Pour les systèmes « mordançage et rinçage » (1), le mordançage est réalisé séparément et permet le retrait du *smear layer* et l'exposition du collagène après une déminéralisation superficielle (B). L'humidité dentinaire maintien des espaces entre les fibres de collagènes pour permettre l'infiltration de la résine adhésive (C1, C2), et enfin former la couche hybride (D). Pour les systèmes « auto-mordançant » (2), le *smear layer* est incorporé dans l'interface adhésive ; la couche hybride est plus fine et irrégulière.

3.3.2. Techniques de collage en une seule étape : les adhésifs universels

Les fabricants, à travers leurs innovations récentes, cherchent à simplifier les différents protocoles de collage pour les rendre plus attrayants aux yeux des praticiens. C'est ainsi que les adhésifs universels sont apparus il y a une dizaine d'année, permettant l'adhésion entre la dent et différents substrats.

Le premier adhésif universel mis sur le marché est le Scotchbond Universal (société 3M, proposé à la vente en 2011). Il utilise le monomère 10-MDP, qui facilite la création de liaisons avec le calcium contenu dans les tissus dentaires (Perdigão et al. 2021).

Les adhésifs universels sont présentés comme des adhésifs *self-etch* en une seule étape pouvant également être utilisés comme des adhésifs *etch-and-rinse* en deux étapes à l'aide d'acide phosphorique préalablement appliqué pour mordancer la dentine et l'émail. Ce sont donc des adhésifs multimodaux.

Les adhésifs universels peuvent également être utilisés avec un mordançage amélaire sélectif, où seul l'émail est mordancé à l'acide phosphorique (Sofan et al. 2017; Perdigão et al. 2021).

En plus de leur simplicité d'usage, ils présentent une multitude d'applications cliniques : les restaurations directes ou indirectes, l'utilisation en tant que primer pour coller de la zircone ou encore pour la mise en place d'un *core buildup.*

Cependant, l'apparition sur le marché des adhésifs universels est récente, et bien que leur mode d'application rapide, ainsi que leur capacité à permettre une adhésion entre différents substrats et les tissus dentaires présentent un réel avantage, le manque de recul clinique est à souligner.

Plusieurs revues de littérature et méta-analyses réalisées ces-dernières années (Cuevas-Suárez et al. 2019; Nagarkar et al. 2019; Hardan et al. 2021) ont cherché à évaluer la qualité de l'adhésion des adhésifs universels, à la dentine et l'émail, mais aussi en comparaison aux adhésifs classiques déjà utilisés.

Il apparait tout d'abord que le mordançage à l'acide phosphorique de l'émail demeure l'une des techniques les plus fiables pour assurer une adhésion optimale.

Il apparait également que les adhésifs aux protocoles simplifiés présentent des résultats d'adhésion plus faibles que ceux incluant une résine adhésive hydrophobe séparée.

Les adhésifs universels sont présentés comme multimodaux. Cependant il apparait que leur application associée à une technique de *etch-and-rinse* ou de mordançage sélectif de l'émail permette d'obtenir les meilleurs résultats d'adhésion que leur utilisation en une seule étape (Cuevas-Suárez et al. 2019; Hardan et al. 2021; Perdigão et al. 2021).

La pluralité des adhésifs universels disponibles sur le marché, dont la composition chimique n'est pas constante entre chaque produit, rend leur comparaison difficile. Il apparaitrait que leur efficacité varie avec les composants utilisés. (Hardan et al. 2021).

Enfin, ces différentes revues se basent en grande partie sur les résultats d'études in vitro, et une fois encore, il semble que le manque de recul clinique à moyen et long terme soit un facteur critique. Comme de nombreuses innovations citées dans cet exposé, les résultats sont prometteurs, mais le recul encore faible incite à effectuer davantage de recherches avant de systématiser le recours à ces nouveaux adhésifs (Elkaffas et al. 2018; Cuevas-Suárez et al. 2019; Hardan et al. 2021).

4. Conclusion

La « dentisterie minimalement invasive » est un concept apparu il y a une vingtaine d'années. En s'appuyant sur une meilleure compréhension du rôle de la conservation tissulaire dans le taux de survie de l'organe dentaire, mais aussi grâce à l'évolution des techniques et instruments, l'objectif est d'intercepter la maladie avant son apparition, ou à un stade précoce. L'atteinte tissulaire serait ainsi minimale. Cette philosophie nouvelle met en avant l'idée qu'aucun matériau disponible à ce-jour ne saurait remplacer le tissu dentaire naturel.

Ce nouveau paradigme permet ainsi l'émergence de « l'endodontie minimalement invasive ». Bien qu'aucun protocole précis ne la définisse, elle cherche à minimiser l'atteinte tissulaire au cours du traitement endodontique. Pour cela, de nouveaux instruments et matériaux, tels que des limes respectant mieux l'anatomie canalaire, ou des biomatériaux d'obturation, permettent au praticien d'envisager une mise en forme plus économe en tissus dentaires, tout en gardant à l'esprit l'objectif biologique du traitement endodontique.

Cela ne consiste pas en la réalisation de cavités d'accès trop étroites telles que les cavités « ninja », mais bien d'essayer de penser le traitement différemment, pour trouver un compromis entre le retrait de tissu nécessaire à une bonne désinfection et obturation du canal, et une préservation dentinaire qui assure la pérennité de l'organe sur l'arcade.

Si depuis de nombreuses années, les recherches se fondent sur la microbiologie des lésions pour mieux comprendre l'échec des traitements endodontique, il est intéressant de remarquer le rôle que jouent la qualité de la restauration et la perte de substance, dans le taux de survie de la dent dépulpée. L'endodontie et la dentisterie restauratrice sont donc deux disciplines à étudier conjointement si l'on souhaite prendre en compte l'organe dentaire dans sa globalité : c'est « le continuum endo-restaurateur ».

Il apparait en effet que l'impact du traitement endodontique sur la résistance mécanique de la dent soit moindre en comparaison à la perte tissulaire engendrée par la lésion carieuse ou les différentes procédures restauratrices.

L'évolution de la compréhension biomécanique de la dentine au cours de ces dernières années a mis en lumière le rôle des défauts dentinaires dans les échecs restaurateurs catastrophiques. Plusieurs facteurs semblent influencer le taux de survie de la dent dépulpée, comme la présence ou non d'un férule, mais aussi le délabrement dentinaire et la conservation de structures tissulaires clés comme la dentine péri-cervicale.

Avec l'émergence de l'implantologie au sein de la dentisterie moderne, il apparait d'autant plus nécessaire pour le praticien de pouvoir délivrer un pronostic fiable du traitement endodontique puis restaurateur d'une dent, et de comprendre les facteurs pouvant pérenniser leur succès.

Comme pour « l'endodontie minimalement invasive », il n'existe pas de protocole précis définissant une dentisterie restauratrice moins délabrante. Cependant, les nouvelles techniques de collage, plus simple à mettre en œuvre et plus esthétiques, permettent de servir ce nouveau paradigme qui cherche à préserver le plus de structures dentaires.

Il faut tout de même noter que la plupart des techniques et instruments décrits dans cet exposé sont apparus il y a moins d'une dizaine d'années. Si leur efficacité semble se confirmer à travers les études in vitro réalisées, le manque de recul clinique à moyen et long terme est une critique récurrente qui rend difficile la possibilité de systématiser leur recours. Ils dénotent malgré tout d'un changement de paradigme au sein de la médecine moderne qui se veut plus conservatrice.

Il ne s'agit pas cependant de rejeter les fondamentaux de l'art dentaire qui ont fait l'épreuve du temps, mais plutôt d'inviter le clinicien à une réflexion sur l'intérêt de la préservation des structures dentaires, qu'aucun matériau ne saurait remplacer à ce-jour. Cet exposé cherche à mettre en lumière le compromis situationnel difficile auquel doit faire face le clinicien, entre un traitement répondant aux exigences biologiques et mécaniques nécessaires à son succès, et la préservation du tissu dentaire qui pérennise ledit traitement.

Bibliographie

Adams N, Tomson PL. Access cavity preparation. Br Dent J. 2014;216(6):333-9.

Adiguzel M, Isken I, Pamukcu II. Comparison of cyclic fatigue resistance of XP-endo Shaper, HyFlex CM, FlexMaster and Race instruments. J Dent Res Dent Clin Dent Prospects. 2018;12(3):208-12.

Albrecht L, Baumgartner J, Marshall J. Evaluation of apical debris removal using various sizes and tapers of profile GT files. J Endod. 2004;30(6):425-8.

Al-Haddad A, Che Ab Aziz ZA. Bioceramic-based root canal sealers : a review. Int J Biomater. 2016;1-10.

Alves FRF, Marceliano-Alves MF, Sousa JCN, Silveira SB, Provenzano JC, Siqueira JF. Removal of root canal fillings in curved canals using either reciprocating single- or rotary multi-instrument systems and a supplementary step with the XP-Endo Finisher. J Endod. 2016;42(7):1114-9.

Arias A, Paqué F, Shyn S, Murphy S, Peters OA. Effect of canal preparation with TRUShape and Vortex rotary instruments on three-dimensional geometry of oval root canals. Aust Endod J. 2018;44(1):32-9.

Arola D, Gao S, Zhang H, Masri R. The tooth : its structure and properties. Dent Clin North Am. 2017;61(4):651-68.

Azim AA, Piasecki L, da Silva Neto UX, Cruz ATG, Azim KA. XP Shaper, a novel adaptive core rotary instrument: micro–computed tomographic analysis of its shaping abilities. J Endod. 2017;43(9):1532-8.

Baugh D, Wallace J. The role of apical instrumentation in root canal treatment : a review of the literature. J Endod. 2005;31(5):333-40.

Bedran-Russo A, Leme-Kraus AA, Vidal CMP, Teixeira EC. An overview of dental adhesive systems and the dynamic tooth–adhesive interface. Dent Clin North Am. 2017;61(4):713-31.

Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments : rationale, performance and safety. Status report for the American Journal of Dentistry. Am J Dent. 2001;14(5):324-33.

Best SM, Porter AE, Thian ES, Huang J. Bioceramics : Past, present and for the future. J Eur Ceram Soc. 2008;28(7):1319-27.

Boutsioukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LWM. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. J Endod. 2010;36(5):875-9.

Brasseler USA ©. XP-3D Finisher [Internet]. Brasseler USA ©. [cité 13 oct 2021]. Disponible sur: https://xp-3d.com/finisher/

Bronnec F, Bouillaguet S, Machtou P. Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the final irrigation regimen. Int Endod J. 2010;43(8):663-72.

Bronnec F, Caron G. Le traitement endodontique des premières molaires. Réal Clin. 2008;19(4):339-51.

Bukiet F, Giraud T. Utilisation des silicates de calcium pour l'obturation canalaire. In: Endodontie. 2e édition. Puteaux: Editions CdP; 2020.

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. 2015;41(9):1469-73.

Camps J, Pertot WJ. Le choix des instruments endodontiques manuels. Réal Clin. 1992;3(1):79-90.

Carvalho MA de, Lazari PC, Gresnigt M, Del Bel Cury AA, Magne P. Current options concerning the endodontically-treated teeth restoration with the adhesive approach. Braz Oral Res. 2018;32(suppl 1):174-158.

Castellucci A. Endodontics. Volume 2. 1ère éd. West JD, éditeur. Florence: Edizioni Odontoiatriche Il Tridente; 2005.

Chen S-C, Chueh L-H, Hsiao CK, Wu H-P, Chiang C-P. First untoward events and reasons for tooth extraction after nonsurgical endodontic treatment in Taiwan. J Endod. 2008;34(6):671-4.

Chow TW. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. J Endod. 1983;9(11):475-9.

Clark D, Khademi J. Modern molar endodontic access and directed dentin conservation. Dent Clin North Am. 2010a;54(2):249-73.

Clark D, Khademi JA. Case studies in modern molar endodontic access and directed dentin conservation. Dent Clin North Am. 2010b;54(2):275-89.

Cuevas-Suárez CE, da Rosa WL de O, Lund RG, da Silva AF, Piva E. Bonding performance of universal adhesives : an updated systematic review and meta-analysis. J Adhes Dent. 2019;21(1):7-26.

Dietschi D, Duc O, Krejci I, Sadan A. Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth : a systematic review of the literature. Part 1, Composition and micro- and macrostructure alterations. Quintessence Int Berl Ger 1985. 2007;38(9):733-43.

Dietschi D, Duc O, Krejci I, Sadan A. Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth : a systematic review of the literature. Part II, (Evaluation of fatigue behavior, interfaces, and in vivo studies). Quintessence Int Berl Ger 1985. 2008;39(2):117-29.

Elkaffas AA, Hamama HHH, Mahmoud SH. Do universal adhesives promote bonding to dentin? A systematic review and meta-analysis. Restor Dent Endod. 2018;43(3):e29.

Ericson D. What is minimally invasive dentistry ? Oral Health Prev Dent. 2004;2(Suppl 1):287-92.

Falk KW, Sedgley CM. The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro. J Endod. 2005;31(10):742-5.

Gaikwad A, Pandit V. In vitro evaluation of the strength of endodontically treated teeth after preservation of soffit and pericervical dentin. Indian J Conserv Endod. 2016;1(3):93-6.

Gluskin AH, Peters CI, Peters OA. Minimally invasive endodontics : challenging prevailing paradigms. Br Dent J. 2014;216(6):347-53.

Goerig AC, Michelich RJ, Schultz HH. Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. J Endod. 1982;8(12):550-4.

Gutmann JL. Minimally invasive dentistry (Endodontics). J Conserv Dent JCD. 2013;16(4):282-3.

Haïkel Y, Serfaty R, Wilson P, Speisser JM, Allemann C. Mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments and the effect of sodium hypochlorite treatment. J Endod. 1998;24(11):731-5.

Hardan L, Bourgi R, Kharouf N, Mancino D, Zarow M, Jakubowicz N, et al. Bond strength of universal adhesives to dentin : a systematic review and meta-analysis. Polymers. 2021;13(5):814.

Huang TJ, Schilder H, Nathanson D. Effects of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin. J Endod. 1992;18(5):209-15.

Hulsmann M, Peters OA, Dummer PMH. Mechanical preparation of root canals : shaping goals, techniques and means. Endod Top. 2005;10(1):30-76.

Ingle JI. A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and filling materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1961;14:83-91.

Jensen LE, Murphy S, Williamson AE, Teixeira FB, Johnson WT, Friedl CC, et al. Root canal preparation in mandibular premolars with TRUShape and Vortex Blue : A micro-computed tomography study. Aust Endod J. 2019;45(1):12-9.

Jitaru S, Hodisan I, Timis L, Lucian A, Bud M. The use of bioceramics in endodontics : literature review. Clujul Med. 2016;89(4):470-3.

Jose T, Shashikala K, Prasad BSK. Endolight concept: a minimally invasive endodontic future. IOSR J Dent Med Sci. 2020;19(7):12.

Jou Y-T, Karabucak B, Levin J, Liu D. Endodontic working width : current concepts and techniques. Dent Clin North Am. 2004;48(1):323-35.

Juloski J, Radovic I, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. Ferrule effect : a literature review. J Endod. 2012;38(1):11-9.

Khademi A, Yazdizadeh M, Feizianfard M. Determination of the minimum instrumentation size for penetration of irrigants to the apical third of root canal systems. 2006;32(5):417-20.

Kinney JH, Marshall SJ, Marshall GW. The mechanical properties of human dentin : a critical review and re-evaluation of the dental literature. Crit Rev Oral Biol Med. 2003;14(1):13-29.

Kinney JH, Nalla RK, Pople JA, Breunig TM, Ritchie RO. Age-related transparent root dentin: mineral concentration, crystallite size, and mechanical properties. Biomaterials. 2005;26(16):3363-76.

Kishen A. Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth. Endod Top. 2006;13(1):57-83.

Krishan R, Paqué F, Ossareh A, Kishen A, Dao T, Friedman S. Impacts of conservative endodontic cavity on root canal instrumentation efficacy and resistance to fracture assessed in incisors, premolars, and molars. J Endod. 2014;40(8):1160-6.

Lazarski MP, Walker WA, Flores CM, Schindler WG, Hargreaves KM. Epidemiological evaluation of the outcomes of nonsurgical root canal treatment in a large cohort of insured dental patients. J Endod. 2001;27(12):791-6.

Lima CO, Barbosa AFA, Ferreira CM, Augusto CM, Sassone LM, Lopes RT, et al. The impact of minimally invasive root canal preparation strategies on the ability to shape root canals of mandibular molars. Int Endod J. 2020;53(12):1680-8.

Lopez LA. The missing link : the endodontic/restorative continuum. N Y State Dent J. 2004;70(9):18-21.

Machado AG, Guilherme BPS, Provenzano JC, Marceliano-Alves MF, Gonçalves LS, Siqueira JF, et al. Effects of preparation with the Self-Adjusting File, TRUShape and XP-endo Shaper systems, and a supplementary step with XP-endo Finisher R on filling material removal during retreatment of mandibular molar canals. Int Endod J. 2019;52(5):709-15.

Makati D, Shah NC, Brave D, Singh Rathore VP, Bhadra D, Dedania MS. Evaluation of remaining dentin thickness and fracture resistance of conventional and conservative access and biomechanical preparation in molars using cone-beam computed tomography : an in vitro study. J Conserv Dent JCD. 2018;21(3):324-7.

Metzger Z, Teperovich E, Zary R, Cohen R, Hof R. The self-adjusting file (SAF). Part 1, respecting the root canal anatomy : a new concept of endodontic files and its implementation. J Endod. 2010;36(4):679-90.

Moore B, Verdelis K, Kishen A, Dao T, Friedman S. Impacts of contracted endodontic cavities on instrumentation efficacy and biomechanical responses in maxillary molars. J Endod. 2016;42(12):1779-83.

Nagarkar S, Theis-Mahon N, Perdigão J. Universal dental adhesives : current status, laboratory testing, and clinical performance. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2019;107(6):2121-31.

Nagasiri R, Chitmongkolsuk S. Long-term survival of endodontically treated molars without crown coverage : a retrospective cohort study. J Prosthet Dent. 2005;93(2):7.

Naumann M, Schmitter M, Frankenberger R, Krastl G. “ Ferrule comes first. Post is second ! ” Fake news and alternative facts ? A systematic review. J Endod. 2018;44(2):212-9.

Nový BB, Fuller CE. The material science of minimally invasive esthetic restorations. Compend Contin Educ Dent. 2008;29(6):338-46.

Olcay K, Ataoglu H, Belli S. Evaluation of related factors in the failure of endodontically treated teeth : a cross-sectional study. J Endod. 2018;44(1):38-45.

Ørstavik D, Ford TP. Essential endodontology : prevention and treatment of apical periodontitis. Aust Endod J. 1998;24(3):138-9.

Perdigão J, Araujo E, Ramos RQ, Gomes G, Pizzolotto L. Adhesive dentistry : current concepts and clinical considerations. J Esthet Restor Dent Off Publ Am Acad Esthet Dent Al. 2021;33(1):51-68.

Pérez Morales M de LN, González Sánchez JA, Olivieri JG, Elmsmari F, Salmon P, Jaramillo DE, et al. Micro-computed tomographic assessment and comparative study of the shaping ability of 6 nickel-titanium files : an in vitro study. J Endod. 2021;47(5):812-9.

Pertot WJ, Pommel L. Mise en forme et nettoyage du système canalaire. In: Endodontie. 2e édition. Puteaux: Editions CdP; 2020.

Peters O, Laib A, Gohring T, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. J Endod. 2001;27(1):1-6.

Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. J Endod. 2004;30(8):559-67.

Peters OA, Arias A, Choi A. Mechanical properties of a novel nickel-titanium root canal instrument : stationary and dynamic tests. J Endod. 2020;46(7):994-1001.

Peters OA, Arias A, Paqué F. A micro–computed tomographic assessment of root canal preparation with a novel instrument, TRUshape, in mesial roots of mandibular molars. J Endod. 2015;41(9):1545-50.

Plotino G, Grande NM, Isufi A, Ioppolo P, Pedullà E, Bedini R, et al. Fracture strength of endodontically treated teeth with different access cavity designs. J Endod. 2017;43(6):995-1000.

Ree M, Schwartz RS. The endo-restorative interface : current concepts. Dent Clin North Am. 2010;54(2):345-74.

Reeh ES, Messer HH, Douglas WH. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. J Endod. 1989;15(11):512-6.

Sabeti M, Kazem M, Dianat O, Bahrololumi N, Beglou A, Rahimipour K, et al. Impact of access cavity design and root canal taper on fracture resistance of endodontically treated teeth : an ex vivo investigation. J Endod. 2018;44(9):1402-6.

Schilder H. Filling Root Canals in Three Dimensions. J Endod. 1967;32(4):281-90.

Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. Dent Clin North Am. 1974;18(2):269-96.

Sedgley CM, Messer HH. Are endodontically treated teeth more brittle? J Endod. 1992;18(7):332-5.

Shuping GB, Orstavik D, Sigurdsson A, Trope M. Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. J Endod. 2000;26(12):751-5.

Silva EJNL, Vieira VTL, Belladonna FG, Zuolo A de S, Antunes H dos S, Cavalcante DM, et al. Cyclic and torsional fatigue resistance of XP-endo Shaper and TRUShape instruments. J Endod. 2018;44(1):168-72.

Simon S, Flouriot AC. BioRoot^{TM} RCS a new biomaterial for root canal filling. Int Dent. 2016;6(2):14-20.

Simon S, Machtou P, Adams N, Tomson P, Lumley P. Apical limit and working length in endodontics. Dent Update. 2009;36(3):146-53.

Šimundić Munitić M, Poklepović Peričić T, Utrobičić A, Bago I, Puljak L. Antimicrobial efficacy of commercially available endodontic bioceramic root canal sealers : a systematic review. PLoS ONE. 2019;14(10):1-20.

Sofan E, Sofan A, Palaia G, Tenore G, Romeo U, Migliau G. Classification review of dental adhesive systems : from the IV generation to the universal type. Ann Stomatol (Roma). 2017;8(1):1-17.

Sousa K, Andrade-Junior CV, Silva JM da, Duarte MAH, De-Deus G, Silva EJNL da, et al. Comparison of the effects of TripleGates and Gates-Glidden burs on cervical dentin thickness and root canal area by using cone beam computed tomography. J Appl Oral Sci. 2015;23(2):164-8.

Tang W, Wu Y, Smales RJ. Identifying and reducing risks for potential fractures in endodontically treated teeth. J Endod. 2010;36(4):609-17.

Tavares PBL, Bonte E, Boukpessi T, Siqueira JF, Lasfargues J-J. Prevalence of apical periodontitis in root canal-treated teeth from an urban French population : influence of the quality of root canal fillings and coronal restorations. J Endod. 2009;35(6):810-3.

Trope M, Bunes A, Debelian G. Root filling materials and techniques : bioceramics a new hope? Endod Top. 2015;32(1):86-96.

Tzimpoulas NE, Alisafis MG, Tzanetakis GN, Kontakiotis EG. A prospective study of the extraction and retention incidence of endodontically treated teeth with uncertain prognosis after endodontic referral. J Endod. 2012;38(10):1326-9.

Versiani MA, Leoni GB, Steier L, De-Deus G, Tassani S, Pécora JD, et al. Micro-computed tomography study of oval-shaped canals prepared with the self-adjusting file, Reciproc, WaveOne, and ProTaper universal systems. J Endod. 2013;39(8):1060-6.

Vire DE. Failure of endodontically treated teeth : classification and evaluation. J Endod. 1991;17(7):338-42.

Vorster M. Minimally invasive endodontics using a new single-file rotary system. Int Dent. 2019;9(4):6-20.

Walia H, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files. J Endod. 1988;14(7):346-51.

Webber J, Machtou P, Kuttler S, Pertot WJ. Mise en forme canalaire mono-instrumentale en mouvement réciproque : WaveOne® et Reciproc®. Inf Dent. 2011;(38):10-8.

Weine FS, Kelly RF, Lio PJ. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. J Endod. 1975;1(8):255-62.

Whitworth J. Methods of filling root canals: principles and practices. Endod Top. 2005;12(1):2-24.

Wu M-K, Dummer PMH, Wesselink PR. Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. Int Endod J. 2006;39(5):343-56.

Zhekov KI, Stefanova VP. Retreatability of bioceramic endodontic sealers : a review. Folia Med (Plovdiv). 2020;62(2):258-64.

Zuolo ML, Zaia AA, Belladonna FG, Silva EJNL, Souza EM, Versiani MA, et al. Micro-CT assessment of the shaping ability of four root canal instrumentation systems in oval-shaped canals. Int Endod J. 2018;51(5):564-71.

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.

GANEM Raphaël. L'endo-continuum en 2021 : une endodontie minimalement invasive pour des restaurations moins délabrantes. 2021. 66 p. Réf. Biblio. : 59-65

Sous la direction de Mme la Docteure Julia BOSCO et de Mme la Docteure Gabriela MONTERO

Th : Chir Dent. : Université de Paris : 2021

Résumé:

Les réflexions autour du concept de « dentisterie minimalement invasive » au début des années 2000 ont permis l'émergence d'une dentisterie restauratrice moins délabrante, mais aussi de la philosophie « d'endodontie minimalement invasive ». Fondée sur une préservation tissulaire maximale mais raisonnée, elle respecte les objectifs biologiques du traitement endodontique, mais porte une attention particulière sur la réduction de la conicité et la préservation dentinaire maximale.

"Le continuum endo-restaurateur" en 2021 s'inscrit dans une approche thérapeutique ultra-conservatrice plus respectueuse des structures dentaires, responsables de la pérennité de l'organe dentaire sur l'arcade.

L'objectif de cette revue narrative de la littérature est d'illustrer l'état actuel des procédures endodontiques non chirurgicales, mettant en évidence la conservation de la structure dentaire. On étudiera également les facteurs mécaniques influençant le taux de survie des dents traitées endodontiquement, et l'évolution des techniques adhésives en dentisterie restauratrice dans le cadre de l'approche minimalement invasive.

DISCIPLINE : Odontologie conservatrice-endodontie

MOTS-CLES Français : endodontie (fMeSH), endodontie minimalement invasive, dentisterie minimalement invasive, dentisterie restauratrice, dentine péri-cervicale, échec de restauration dentaire (fMeSH), collage dentaire (fMeSH), matériaux dentaires (fMeSH)

TITRE en anglais : The endodontic/restorative continuum in 2021: the use of minimally invasive endodontics to create more conservative dental restorations

---

English keywords : endodontics (MeSH), minimally invasive endodontics, minimally invasive dentistry, restorative dentistry, pericervical dentin, dental restoration failure (MeSH), dental bonding (MeSH), dental materials (MeSH)

Université de Paris
UFR d'odontologie
5, rue Garancière
75006 Paris