



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale  
- Pas de Modification 4.0 France (CC BY-NC-ND 4.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD-LYON 1 U.F.R. D'ODONTOLOGIE

U.F.R. D'ODONTOLOGIE

Année 2024

Thèse n°2024 LYO 1D 023

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

Présentée et soutenue publiquement le : 08 Avril 2024

Par

**BRION Guillaume**

**Né le 22/02/1996 à GRENOBLE (038)**

---

**L'usage de la pulpotomie complète en traitement d'urgence  
de la pulpite irréversible : élaboration d'un protocole d'étude  
clinique**

---

**JURY**

**Monsieur le Professeur Pierre FARGE**

**Monsieur le Professeur Cyril VILLAT**

**Monsieur le Docteur Sabri YAHYAOU**

**Madame le Docteur Marie-Agnès GASQUI DE SAINT-JOACHIM**

**Président**

**Assesseur**

**Assesseur**

**Assesseur**



## **UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I**

Président de l'Université	Frédéric FLEURY
Président du Conseil Académique et de la Commission Recherche	Hamda BEN HADID
Vice-Président du Conseil d'Administration	Philippe CHEVALIER
Vice-Présidente de la Commission Formation	Céline BROCHIER
Vice-Président Relations Hospitalo-Universitaires	Jean François MORNEX
Directeur général des services	Pierre ROLLAND

### **SECTEUR SANTE**

Doyen de l'UFR de Médecine Lyon-Est	Gilles RODE
Doyen de l'UFR de Médecine et de Maïeutique Lyon Sud - Charles Mérieux	Philippe PAPAREL
Doyen de l'Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques (ISPB)	Claude DUSSART
Doyen de l'UFR d'Odontologie	Jean-Christophe MAURIN
Directeur de l'Institut des Sciences & Techniques de Réadaptation (ISTR)	Jacques LUAUTÉ
Présidente du Comité de Coordination des Études Médicales	Carole BURILLON

### **SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIE**

Directrice de l'UFR Biosciences	Kathrin GIESELER
Directeur de l'UFR Faculté des Sciences	Bruno ANDRIOLETTI
Directeur de l'UFR Sciences & Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)	Guillaume BODET
Directeur de Polytech Lyon	Emmanuel PERRIN
Directeur de l'Institut Universitaire de Technologie Lyon 1 (IUT)	Michel MASSENZIO
Directeur de l'Institut des Science Financière & Assurances (ISFA)	Nicolas LEBOISNE

28 septembre 2023

Directeur de l'Observatoire de Lyon	Bruno GUIDERDONI
Directeur de l'Institut National Supérieur du Professorat & de l'Éducation (INSPÉ)	Pierre CHAREYRON
Directrice du Département-composante Génie Électrique & des Procédés (GEP)	Rosaria FERRIGNO
Directrice du Département-composante Informatique	Saida BOUAZAK BRONDEL
Directeur du Département-composante Mécanique	Marc BUFFAT

## FACULTE D'ODONTOLOGIE DE LYON

**Doyen :** M. Jean-Christophe MAURIN, Professeur des Universités-Praticien hospitalier

**Vice-Doyens :** Pr. Cyril VILLAT, Professeur des Universités - Praticien hospitalier  
Pr. Maxime DUCRET, Professeur des Universités - Praticien hospitalier  
Pr. Brigitte GROSGOGEAT, Professeure des Universités - Praticien hospitalier

### **SOUS-SECTION 56-01 : ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE ET ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE**

Professeur Emérite des Universités : M. Jean-Jacques MORRIER,  
Professeure des Universités-PH : Mme Béatrice THIVICHON-PRINCE  
Maîtres de Conférences-PH : Mme Sarah GEBEILLE-CHAUTY, Mme Claire PERNIER  
Maître de Conférences Associé : Mme Lienhart Guillemette

### **SOUS-SECTION 56-02 : PREVENTION – EPIDEMIOLOGIE ECONOMIE DE LA SANTE - ODONTOLOGIE LEGALE**

Professeur des Universités-PH : M. Denis BOURGEOIS  
Maître de Conférences-PH : M. Bruno COMTE  
Maître de Conférences Associé : M. Laurent LAFOREST

### **SOUS-SECTION 57-01 : CHIRURGIE ORALE – PARODONTOLOGIE – BIOLOGIE ORALE**

Professeurs des Universités-PH : M. Jean-Christophe FARGES, Mme Kerstin GRITSCH

Maîtres de Conférences-PH : Mme Doriane CHACUN, M. Thomas FORTIN  
M. Arnaud LAFON, Mme Kadiatou SY  
M. François VIRARD

Maîtres de Conférences Associés : Mme Ina SALIASI

### **SOUS-SECTION 58-01 : DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESE, FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATERIAUX**

Professeurs des Universités-PH : M. Pierre FARGE, Mme Brigitte GROSGOGEAT-BALAYRE  
M. Maxime DUCRET, M. Christophe JEANNIN  
M. Jean-Christophe MAURIN, Mme Catherine MILLET  
M. Olivier ROBIN, Mme Sarah MILLOT-GUARD, M. Cyril VILLAT

Maîtres de Conférences-PH : Mme Marie-Agnès GASQUI DE SAINT-JOACHIM  
Mme Marion LUCCHINI, M. Thierry SELLI  
Mme Sophie VEYRE, M. Stéphane VIENNOT

Maître de Conférences Associé : M. HAZEM ABOUELLEIL-SAYED



**SECTION 87 :**

Maître de Conférences

**SCIENCES BIOLOGIQUES FONDAMENTALES ET CLINIQUES**

Mme Florence CARROUEL

19 février 2024

## Remerciements

A notre Président du Jury,

**Monsieur le Professeur VILLAT Cyril,**

Professeur des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Praticien Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Ancien Interne en Odontologie

Docteur de l'École Centrale Paris

Habilité à Diriger des Recherches

Vice-Doyen à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Responsable du département pédagogique de Dentisterie Restauratrice – Endodontie

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude d'avoir accepté de présider ce jury, et d'avoir pris le temps de relire et de corriger notre travail. Ce fut un privilège de bénéficier de votre enseignement théorique et clinique au cours de notre formation. Vous avez su nous inculquer un travail minutieux, de la précision et de la patience, et nous aspirons à être à la hauteur de ces valeurs dans notre futur exercice professionnel.*

A notre Jury de thèse,

**Monsieur FARGE Pierre,**

Professeur des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Praticien Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Sciences Odontologiques

Docteur de l'Université Lyon I

Docteur en Sciences Cliniques (Ph.D) de l'Université de Montréal

Habilité à Diriger des Recherches

*Nous souhaitons exprimer notre sincère reconnaissance d'avoir accepté de juger notre travail. Nous vous remercions de votre relecture attentive. Votre encadrement durant notre formation clinique nous a été d'une grande valeur. Vous nous avez enseigné l'importance de la rigueur et de la compassion dans notre pratique. Nous vous remercions également pour votre accompagnement précieux aux urgences dentaires.*

A notre Jury de thèse,

**Monsieur le Docteur YAHYAOUI Sabri,**

Chef de Clinique des Universités

Assistant hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

*Nous sommes très touchés que vous ayez accepté de siéger au sein de notre jury de thèse. Nous tenons à vous remercier de votre réactivité et de votre implication permettant le bon déroulé de cette soutenance.*

A notre Jury de thèse et Directrice de thèse

**Madame le Docteur GASQUI DE SAINT-JOACHIM Marie-Agnès,**

Maître de Conférences des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Praticien Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

*Nous sommes extrêmement reconnaissant de votre implication et de votre soutien dans l'élaboration de cette soutenance. Nous tenons à exprimer notre plus grande gratitude de nous avoir aidé à choisir un sujet de soutenance ainsi que d'avoir accepté de la diriger. Nous vous sommes reconnaissant pour votre aide en polyclinique et de votre implication en urgence. Votre écoute ainsi que votre façon de prodiguer des soins nous ont été d'une grande aide lors de notre parcours.*

# Table des Matières

<b>Introduction .....</b>	<b>12</b>
<b>1 La pulpite irréversible et son traitement .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 La pulpite irréversible aiguë.....</b>	<b>16</b>
1.1.1 Définition Clinique .....	16
1.1.2 Définition Biologique .....	18
1.1.3 Réparation du complexe dentino-pulpaire .....	21
<b>1.2 Principe de détection de la pulpite irréversible.....</b>	<b>25</b>
1.2.1 Diagnostic clinique .....	25
1.2.2 Diagnostic moléculaire .....	27
1.2.3 Diagnostic Radiographique .....	29
<b>1.3 Principe de traitement.....</b>	<b>31</b>
1.3.1 Éviction canalaire complète (ou NSRCT) .....	32
1.3.2 Éviction canalaire partielle .....	34
1.3.3 La pulpotomie, une éviction pulpaire partielle ou totale .....	40
<b>2 Le traitement de la pulpite irréversible par la pulpotomie cervicale / totale / camérale (FP) .....</b>	<b>44</b>
<b>2.1 Comparaison de la pulpotomie complète et de la pulpotomie partielle .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2 Critères de succès de la pulpotomie complète .....</b>	<b>46</b>
<b>2.3 Facteurs influençant le succès de la pulpotomie complète .....</b>	<b>55</b>
2.3.1 Facteurs préopératoires .....	55
2.3.2 Facteurs peropératoires .....	60
2.3.3 Facteurs postopératoires .....	65
<b>2.4 Élaboration d'un protocole clinique à mettre en place.....</b>	<b>69</b>
<b>3 Le traitement de la pulpite irréversible : un protocole d'étude clinique.....</b>	<b>70</b>
<b>3.1 Descriptif de l'étude .....</b>	<b>71</b>
<b>3.2 Définition de l'étude .....</b>	<b>73</b>
<b>3.3 Critères de succès de la thérapeutique et calendrier de l'étude.....</b>	<b>77</b>
<b>3.4 Objectifs de l'étude clinique .....</b>	<b>79</b>
<b>3.5 Population cible.....</b>	<b>82</b>
<b>3.6 Critères d'éligibilité.....</b>	<b>82</b>
<b>3.7 Analyse et traitement des données .....</b>	<b>85</b>
3.7.1 Principes juridiques .....	85
3.7.2 Note d'information et de non opposition .....	87

3.7.3 Flow Chart ou schéma de l'étude .....	88
<b>Conclusion</b> .....	<b>90</b>
<b>Illustration</b> .....	<b>93</b>
<b>Tableaux</b> .....	<b>95</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>96</b>

# Introduction

L'organe dentaire est sujet à différentes agressions au cours de sa vie au sein de l'arcade dentaire. Elles peuvent être d'étiologies différentes et impliquent des thérapies spécifiques par le corps médical afin de rendre la dent fonctionnelle. La carie est une maladie infectieuse d'origine bactérienne infiltrant l'organe dentaire de manière centripète. L'inflammation de la pulpe est un mécanisme de défense de l'organe dentaire lorsque l'agression n'est pas contrôlée. La pulpite est classée conventionnellement selon ses répercussions sur les tissus environnants : pulpite réversible ou irréversible. En effet, bien qu'elle soit un mécanisme de défense de l'organe dentaire malade, une inflammation non contrôlée va induire une destruction des tissus dentaires de manière irréversible. Conventionnellement, la thérapeutique de choix lors d'une atteinte infectieuse du tissu pulpaire est le traitement endodontique non chirurgical (NSRCT). Il se réalise par la mise en forme et la désinfection du système canalaire radiculaire suivie par l'obturation à l'aide d'un matériau inerte, permettant de transformer une dent pathologique en une entité saine, asymptomatique et fonctionnelle sur l'arcade (1).

Selon l'étendue de la lésion carieuse, le degré de l'atteinte pulpaire, la cause de l'effraction et le type de dent (temporaire, permanente mature ou immature), les thérapies à employer vont être ordonnées selon le gradient thérapeutique. Ce gradient se qualifie par l'impératif biologique de la préservation tissulaire. La Haute Autorité de Santé (HAS) va considérer que le maintien de la vitalité pulpaire est un des objectifs généraux de l'odontologie *a minima*, permettant de freiner le cycle des restaurations dentaires favorisant ainsi la conservation plus longue des dents sur l'arcade (2). Les thérapies de maintien de vitalité pulpaire (VPT) vont être un des moyens d'atteindre cet objectif par le praticien.

La conservation de la vitalité de la dent va permettre une multitude d'avantages (3). Contrairement à une dent traitée endodontiquement, une dent dont la vitalité pulpaire

a été conservée sera plus résistante mécaniquement avec un risque de fêlure/fracture moins important. Le risque d'infection péri apicale est également diminué par la présence des éléments naturels anti-infectieux, anti-inflammatoires et immunitaires apportés par la pulpe. La préservation des cellules nerveuses sensorielles et sensitives va permettre de garder une réponse proprioceptive d'une part, et de garder le signal d'alarme que constitue la douleur en cas de nouvelle lésion d'autre part.

Il est donc intéressant de se pencher sur les alternatives au traitement endodontique conventionnel, de surcroît en cas de maladie inflammatoire de la pulpe. Ainsi, au cours de ces dernières années, de nombreuses études cliniques ont proposé la pulpotomie totale / camérale / cervicale (FP) comme une alternative au traitement endodontique dans l'indication de maladies pulpaires inflammatoires, notamment dans les pathologies irréversibles. Les signes cliniques de la pulpite irréversible ne sont pas forcément une indication d'un retour impossible à une pulpe saine non inflammatoire. En effet, une nouvelle classification a été proposée afin de mieux rendre compte de l'atteinte histologique inflammatoire de la pulpe en fonction des symptômes et des signes cliniques (4). Celle-ci permettrait une meilleure compréhension des thérapies de vitalité pulpaire à mettre en place lors d'une atteinte pulpaire inflammatoire.

Les patients atteints de ces affections pulpaires sont nécessairement présents en soins d'urgence des cabinets dentaires ou des hôpitaux. En effet, 77% des patients se présentant dans un service d'urgences dentaires viennent pour une douleur dentaire (5).

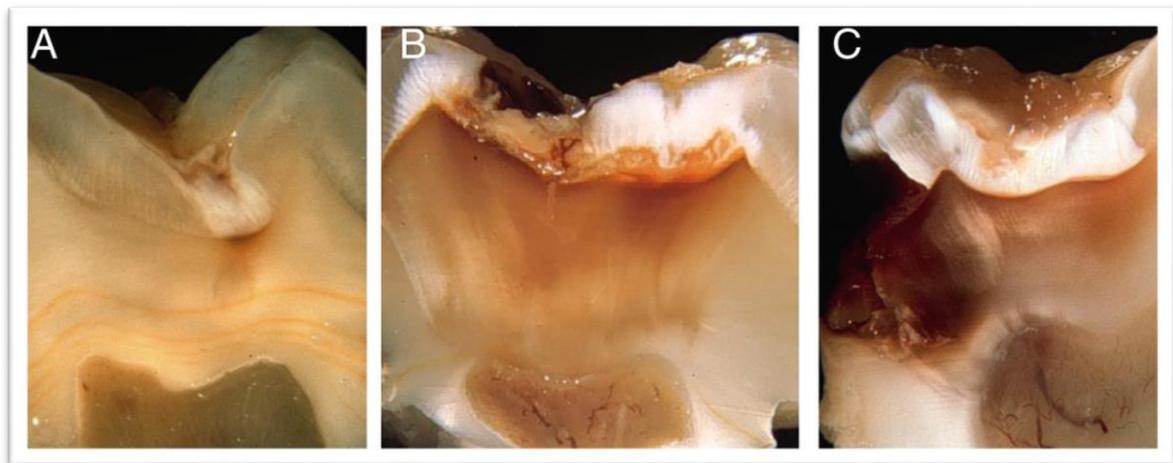
Dans cette présente étude, nous aborderons les possibilités de traitement des patients atteints de pulpites irréversibles par une pulpotomie camérale totale (FP) dans un service d'urgences dentaires. Nous allons d'abord étudier la maladie pulpaire inflammatoire et ses mécanismes de défense, afin de mieux comprendre les enjeux des thérapies de maintien de la vitalité pulpaire (VPT). Après avoir détaillé les VPT et leurs indications, nous nous intéresserons au potentiel de la FP par rapport à celles-ci lors d'une atteinte inflammatoire pulpaire sévère. Nous présenterons un protocole clinique de la FP après avoir détaillé les facteurs influençant son succès.

Afin de répondre à notre hypothèse, nous allons ensuite préparer un protocole d'étude clinique longitudinale prospective d'une cohorte à un seul bras ayant pour but de rendre compte du taux de succès de la FP lors d'une visite en urgence des patients atteints d'une pulpite irréversibles. L'objectif secondaire de cette étude clinique sera d'étudier des facteurs pouvant influencer le taux de succès de la FP.

# 1 La pulpite irréversible et son traitement

La pulpe est un tissu conjonctif responsable de l'innervation, de la vascularisation et de l'immunocompétence de l'organe dentaire. La progression de la maladie dans la pulpe dentaire est similaire aux changements dans d'autres tissus conjonctifs. En règle générale, le tissu et la maladie progressent à travers les étapes suivantes : normale, inflammation (c.-à-d. pulpite), nécrose, infection (6).

L'inflammation pulpaire est une réponse de l'organe dentaire à une agression infectieuse, chimique ou physique. Elle se caractérise par une hyperhémie de la pulpe permettant un recrutement des cellules immunitaires pour faire face à l'agression.



*Illustration 1 : Observation macroscopique de la réaction pulpaire en fonction de différents stades de progression (7).*

L'AAE définit la pulpite comme « terme clinique et histologique désignant une inflammation de la pulpe dentaire ; décrit cliniquement comme réversible ou irréversible et décrite histologiquement comme aiguë, chronique ou hyperplasique » (8). Cliniquement, la gravité de l'inflammation pulpaire n'est évaluée que par un examen des tissus mous et durs, avec des réponses subjectives au test de sensibilité pulpaire

interindividuelle du patient, ainsi qu'un examen radiologique. D'un point de vue biologique, la différence entre pulpite réversible et irréversible est liée aux niveaux d'expression spécifiques des médiateurs inflammatoires in situ (9). Même si la douleur est l'un des principaux symptômes d'infection/inflammation, sa présence ou son intensité n'est pas précisément corrélée à l'étendue de l'atteinte du tissu pulpaire et à la gravité de l'état histopathologique.

Malgré la différenciation histologique entre les pulpites réversibles et irréversibles, la capacité de réparation du tissu pulpaire ne peut pas être appréciée cliniquement (10). Dans l'élaboration du protocole d'étude, nous nous attarderons donc uniquement sur la pulpite aiguë irréversible. Il est alors important de définir la réponse inflammatoire d'un point de vue clinique et biologique afin de pouvoir comprendre la procédure du diagnostic et des tests cliniques à mettre en œuvre.

## 1.1 La pulpite irréversible aiguë

### 1.1.1 Définition Clinique

Lors de l'attente de la dent par une carie profonde, il est primordial de déterminer l'atteinte du complexe dentino-pulpaire, afin de permettre l'élaboration de la thérapie adéquate. Le diagnostic se fera donc avant tout acte thérapeutique, en procédant par l'analyse de l'anamnèse du patient, l'examen clinique objectif et l'examen radiographique. L'AAE (American Association of Endodontists) décrit traditionnellement la pulpite comme réversible ou irréversible en fonction des signes et symptômes cliniques (8).

Les symptômes de la pulpite réversible vont de l'absence de plainte à la sensation de douleur aiguë, induite par des stimuli thermiques et/ou par les aliments sucrés ; l'absence de sensation douloureuse à la percussion ; la sensation douloureuse s'arrête après la suppression du stimulus.

Les symptômes de la pulpite irréversible vont être une sensation de douleur spontanée, intense et irradiante persistant après la suppression du stimulus. La douleur peut être décrite comme pulsatile et tend à induire des troubles du sommeil car le patient se trouve en décubitus dorsal. Il est à noter que les pulpites irréversibles peuvent être asymptomatiques dans 14 à 60 % des cas (11,12).

Bien que l'état inflammatoire de la pulpe puisse corrélé par les données histologiques, la classification ne permet pas de définir le potentiel réel de réparation de celle-ci (10). À l'heure actuelle, il est admis que les diagnostics de pulpite irréversible et réversible sont des termes cliniques opérationnels, mais non biologiques (13). En effet, une étude menée par Lin LM et al. en 2022 a montré qu'il n'y avait pas de corrélation entre les signes cliniques et les résultats histologiques de la pulpite (14). Elle s'appuie notamment sur l'examen des signes cliniques, des tests de sensibilités et des résultats histologiques de la pulpe pour montrer qu'il n'y a pas suffisamment de preuves scientifiques pour déterminer l'inflammation pulpaire de manière réversible ou irréversible. Cette revue met en évidence que 15,4% des cas étudiés présentaient des signes cliniques de pulpite irréversible mais des caractéristiques histologiques de pulpite réversible.

Une proposition d'élargissement de la classification de la pulpite a été suggérée par Wolters et al. en 2017, afin de mettre en relation le diagnostic et la réponse thérapeutique. Cette modification du diagnostic clinique permet d'inclure la relation entre symptomatologie et histologie lors de l'inflammation pulpaire. Cela signifie que le tissu pulpaire sous-jacent de l'inflammation est toujours vital et permet une réparation du complexe dentino-pulpaire si l'inflammation est modérée et contrôlée (4). Cette classification va établir 4 stades de la pulpite, présentés dans le tableau suivant (Tableau 1).

Pulpite		Symptômes
Pulpite Initiale ( <i>Initial Pulpitis</i> )		Réponse accrue mais non prolongée à l'épreuve du froid, insensible aux percussions et non spontanée
Pulpite légère ( <i>Mild Pulpitis</i> )		Réaction accrue et prolongée aux stimuli froids, chauds et sucrés qui peut durer jusqu'à 20 s mais s'atténue ensuite, éventuellement sensible aux percussions.
Pulpite Modérée ( <i>Moderate Pulpitis</i> )		Symptômes clairs, réaction forte, intense et prolongée au froid, pouvant durer quelques minutes, éventuellement douleur sourde spontanée et sensible aux percussions qui peut être plus ou moins supprimée avec des analgésiques.
Pulpite Sévère ( <i>Severe Pulpitis</i> )		Douleur spontanée sévère et réaction douloureuse claire aux stimuli de chaleur et de froid, souvent douleur lancinante aiguë à sourde, les patients ont du mal à dormir à cause de la douleur (s'aggrave en position couchée). La dent est très sensible au toucher et à la percussion.

Tableau 1 : Classification de la pulpite proposée par Wolters et al. (4)

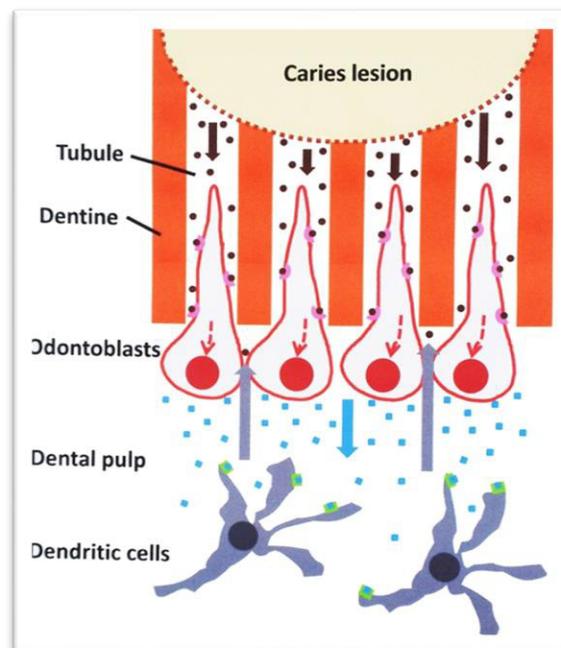
Il faut dès lors établir les termes histologiques de la pulpite irréversible afin de mieux comprendre les mécanismes qu'impliquent les thérapeutiques possibles.

### 1.1.2 Définition Biologique

Nous avons pu montrer que seule la prise en compte des signes cliniques de l'inflammation pulpaire ne permettait pas de poser un diagnostic précis de la pulpite aiguë irréversible. En effet, l'évaluation des marqueurs biologiques au niveau moléculaire,

microscopique et macroscopique est indispensable afin de comprendre le système de défense de l'organe dentaire et son potentiel de cicatrisation.

La mise en place de l'inflammation va être induite par la vitesse et l'état de la progression de la lésion carieuse (7). La structure de la dentine induit un effet de diffusion relatif aux diamètres des tubules dentinaires, ne permettant pas aux bactéries pathogènes de diffuser dans la dentine. Ce n'est pas le cas des toxines qui vont pouvoir cheminer jusqu'aux cellules odontoblastiques, ainsi que des molécules bioactives intégrées dans la matrice dentinaire qui vont être libérées par la déminéralisation du tissu dentinaires. Les toxines bactériennes sont des composants de la paroi cellulaire de celles-ci et sont les modèles moléculaires associés aux agents pathogènes (PAMP). Ce sont donc l'acide lipotéichoïque (LTA) des bactéries Gram-positives et l'acide lipopolysaccharide (LPS) des bactéries Gram-négatives, qui vont être captés par les odontoblastes présents au niveau des entrées tubulaires. Les odontoblastes positionnés à l'entrée des tubules dentinaires vont être les premières cellules à détecter l'agression bactérienne et à induire la réaction inflammatoire de la pulpe (15).



*Illustration 2 : Rôle possible des odontoblastes dans l'initiation de la réponse immunitaire de la pulpe dentaire aux bactéries cariogènes (15).*

En effet, les odontoblastes expriment les gènes des TLR (Toll Like Receptor), récepteurs membranaires exprimés par les cellules immunitaires, qui reconnaissent et fixent les PAMP bactériennes (16). La liaison aux TLR de type 2 va être responsable de la coordination de la réponse immunitaire intercellulaire ainsi que de l'attraction des leucocytes du flux sanguin sur le site de l'inflammation. (17,18). Elle active les voies de signalisation intracellulaire responsables de la synthèse des molécules pro- ou anti-inflammatoire (19). Ces molécules incluent des chimiokines (CCL2, CXCL1, CXCL2, CXCL8 et CXCL10) responsables d'attirer les cellules dendritiques et des cytokines (IL-1 $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IL-4, IL-6, IL-8, IL-10) ainsi que le facteur de nécrose tumorale  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ). Elles permettent l'attraction séquentielle des cellules inflammatoires, à savoir les lymphocytes T, les macrophages, les neutrophiles et les lymphocytes B, et une augmentation du rapport CD4/CD8 des lymphocytes T.

Plus tard, lorsque les pathogènes infiltrent la couche odontoblastique, une deuxième population cellulaire intervient ; les fibroblastes pulpaire. De la même manière, ils reconnaissent grâce à leurs récepteurs les agents pathogènes. Ils produisent alors des cytokines pro-inflammatoires et des chimiokines, qui induisent le recrutement des cellules immunitaires. Ils favorisent l'extravasation, l'activation cellulaire, la différenciation et influencent la production d'anticorps. De plus, les fibroblastes produisent tous les composants du système du complément. Une production locale de ces composants permet d'améliorer la réponse inflammatoire et la mise en place des mécanismes de réparation. Des études ont également montré que la stimulation des fibroblastes par des toxines bactériennes guidait la germination des fibres nerveuses lors de la régénération pulpaire. Ces cellules jouent donc un rôle fondamental dans la régulation de l'inflammation et la réparation tissulaire. Un pool de cellules immunitaires est toujours présent au sein de la pulpe saine. Néanmoins, il a été observé une augmentation significative de la concentration des leucocytes lors de l'inflammation pulpaire car ce sont des cellules activées par les molécules de signalisation produites par les odontoblastes (20).

IL-6 est une cytokine fortement retrouvée dans la pulpe en état inflammatoire, jouant un rôle dans la différenciation des lymphocytes T et dans la formation d'œdème en augmentant la perméabilité vasculaire.

IL-10 est une cytokine anti-inflammatoire supprimant l'expression des cytokines pro tels que IL-6 et CXCL-8 et permettant une limitation de la réponse immunitaire et de la dégradation tissulaire. IL-10 a été fortement retrouvé dans des cellules odontoblastiques in-vitro, prouvant que ces cellules peuvent initier la réponse immunitaire mais aussi en limiter l'intensité (21).

Les métalloprotéinases matricielles (MMP) sont importantes dans le remodelage physiologique des tissus pulpaire et jouent un rôle dans la dégradation de la matrice extracellulaire de la dentine. Il a été démontré que l'expression de MMP-9 était régulée positivement lors du processus inflammatoire (22).

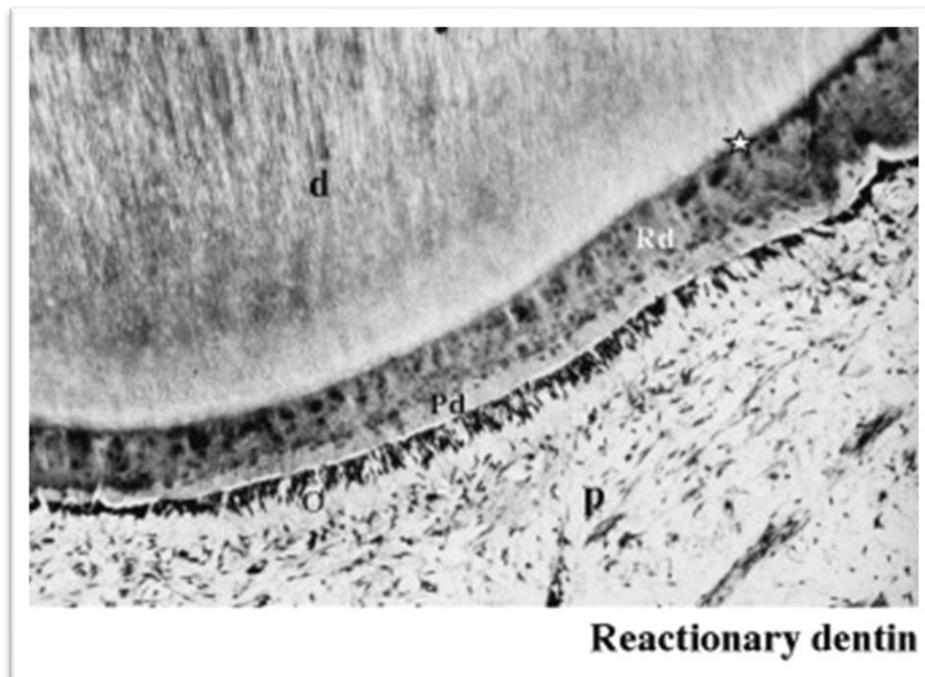
Dans le contexte d'inflammation pulpaire, des synthétases d'oxyde nitrique (NO) sont exprimés dans les fibres nerveuses pulpaire (nNOS), dans les cellules endothéliales (eNOS) ainsi que dans les cellules immunitaires dont les odontoblastes (iNOS et 3-nitrotyrosine). Le NO à faible concentration semble favoriser la vasodilatation, l'angiogenèse et l'homéostasie tissulaire, alors qu'à forte dose il semble induire l'apoptose, la nécrose et la lésion tissulaire. Le NO va réguler les événements physiologiques et pathologiques de la pulpe dentaire, notamment la vasodilatation, la neuromodulation et la différenciation odontoblastique. Il a été prouvé que dans la pulpite irréversible aiguë chez l'homme, iNOS et 3-NT sont des gènes fortement exprimés par les odontoblastes (23).

### 1.1.3 Réparation du complexe dentino-pulpaire

En parallèle à la réponse immunitaire du complexe dentino-pulpaire, le mécanisme de défense à l'agression pulpaire se met en place. Il va permettre de former une couche dentinaire tertiaire agissant en barrière minéralisée entre la pulpe et

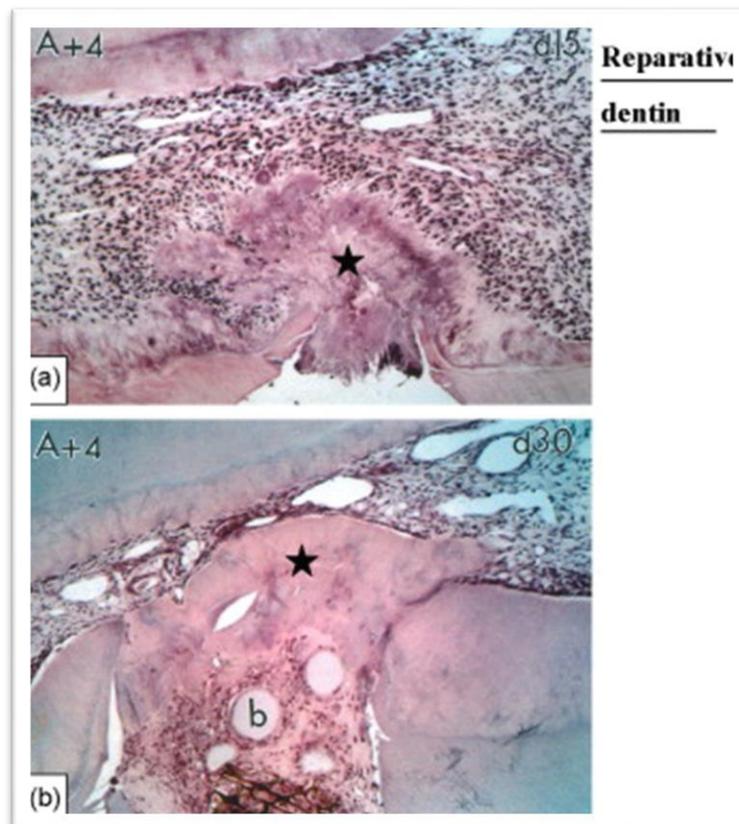
l'infiltration bactérienne. La dentine tertiaire est différente si elle est de réaction ou de réparation.

Des molécules bioactives piégées dans la matrice extracellulaire de la dentine vont être libérées lors de la déminéralisation par les bactéries de la carie à progression lente. La principale molécule est le facteur de croissance TGF- $\beta$ 1, stimulant la différenciation odontoblastique et la sécrétion matricielle. Il est défini que sans exposition pulpaire, les odontoblastes primaires vont alors produire une dentine réactionnelle par dépôt centripète de cristaux de phosphate de calcium, permettant l'obturation des tubules dentinaires (24).



*Illustration 3 : La dentine réactionnelle (Rd) séparée de la dentine normale (d) par une ligne traumatique calcifiée (étoile). Cette dentine est formée par les odontoblastes (O), sécrétant du collagène dans la pré-dentine (Pd). Les cellules pulpaires (p) ne sont pas impliquées dans la formation de cette dentine physiopathologique (25).*

En cas d'agression plus sévère, la rupture de la palissade odontoblastique entraînera la mort cellulaire des odontoblastes primaire et le recrutement de cellules provenant d'un pool de cellules souches sous-odontoblastiques, se différenciant en cellules néo-odontoblastiques. Elles synthétiseront une couche de dentine tertiaire réparatrice appelée pont dentinaire (26).



*Illustration 4 : Formation d'une dentine réparatrice (étoile) scellant l'exposition pulpaire à 15 jours (a) et 30 jours (b) (25)*

L'inflammation et la réparation pulpaire sont étroitement liées, ainsi l'inflammation doit être contrôlée afin que les processus de réparation dentinaire se mettent en place. Dans le cas d'une inflammation non contrôlée, l'évolution se fera vers la destruction tissulaire et la nécrose pulpaire (25).

En effet, certains médiateurs de l'inflammation présentent une multifonctionnalité. Les TGF- $\beta$  vont avoir une action pro-inflammatoire en parallèle de

celle induisant la différenciation des odontoblastes. Le TNF- $\alpha$  induit le recrutement des leucocytes par les macrophages, mais il permet aussi la différenciation des cellules pulpaire en néo-odontoblastes. Une étude montre que le rôle de TNF- $\alpha$  serait concentration dépendante, permettant la minéralisation par les cellules souches en cas de faible concentration et une inhibition de la différenciation en cas de concentration élevée (27).

La mort cellulaire localisée des odontoblastes peut survenir en l'absence d'exposition pulpaire. En effet, les facteurs qui vont influencer sur la mort cellulaire sont l'intensité et la fréquence de la provocation traumatique, ainsi que l'épaisseur de la dentine restante.

Il est important d'évaluer l'atteinte cellulaire dans la définition de la réparation tertiaire. Dans des études expérimentales, elle sera évaluée par une évaluation morphologique et histologique de la matrice dentinaire. Si les odontoblastes primaires sont responsables, une dentine réactionnelle sera complètement régulière et sans zone de dysplasie tubulaire.

Dans une situation clinique, les réponses réactionnelles et réparatrices sont observées côte à côte, se superposant souvent selon la chronologie de la sévérité de la lésion. La lésion carieuse va souvent progresser de manière légère, stimulant une dentinogénèse réactionnelle, à une progression sévère conduisant à une dentinogénèse réparatrice (28).

Le concept selon lequel l'inflammation pulpaire est toujours destructrice est en train de changer, avec notamment une étude montrant qu'un niveau d'inflammation modéré stimulait des événements de régénération dentino-pulpaire (29). La prise en compte de l'interaction entre l'infection et la régénération permet d'étayer la prise en charge de la maladie carieuse et la mise en place au niveau clinique de thérapies de régénération de la vitalité pulpaire.

## 1.2 Principe de détection de la pulpite irréversible

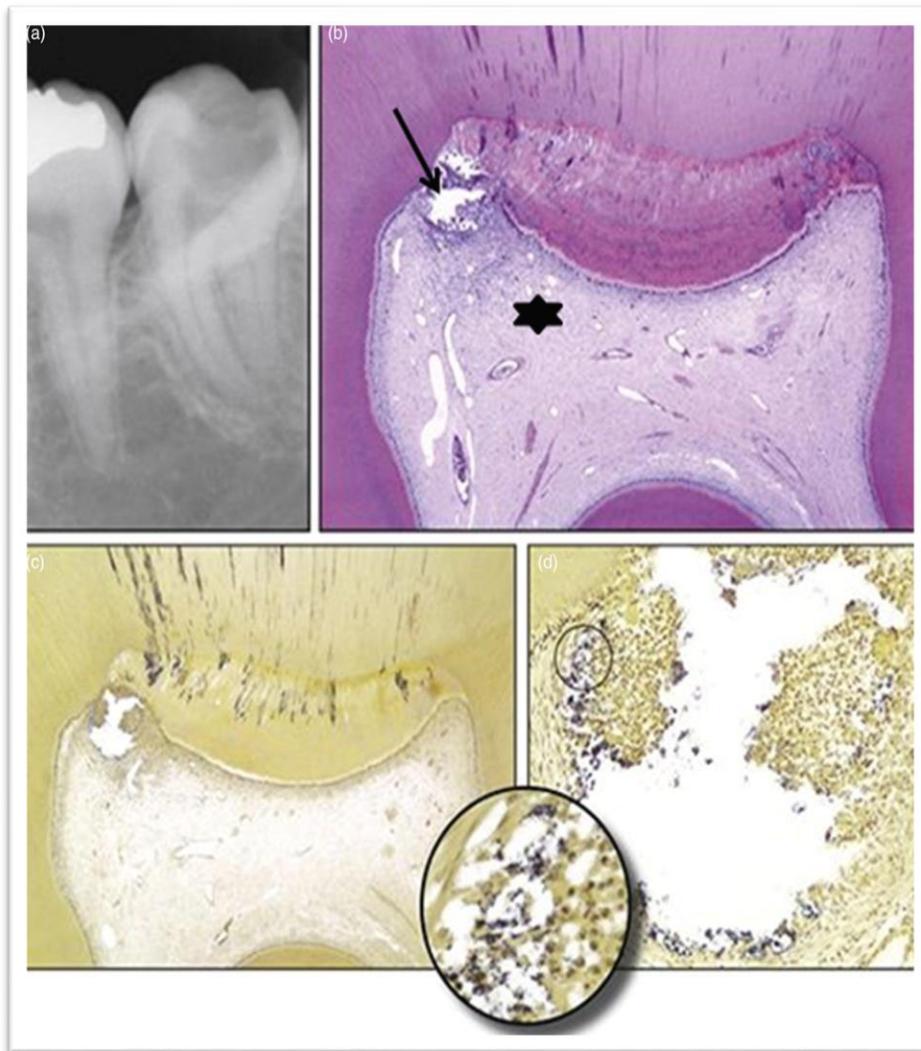
La sévérité du processus inflammatoire va jouer un rôle dans le potentiel de réparation du complexe dentino-pulpaire. Les molécules libérées ainsi que la mise en route de la réaction inflammatoire permettent une réparation uniquement si l'inflammation est modérée et contrôlée. Dans ce cas, une thérapeutique de maintien de la vitalité pulpaire est indiquée. L'évaluation du processus inflammatoire est donc nécessaire pour adapter la thérapeutique pulpaire.

### 1.2.1 Diagnostic clinique

Actuellement, le praticien effectue le diagnostic de maladie pulpaire en se basant sur les symptômes subjectifs du patient, l'examen clinique objectif et les résultats radiographiques, et non sur les résultats histologiques.

La pulpite aiguë réversible est diagnostiquée cliniquement par une douleur provoquée par un stimulus avec peu ou pas de rémanence après stimulation. La pulpite aiguë irréversible est caractérisée par une douleur spontanée et rémanente après stimulation. La douleur étant une donnée subjective, le diagnostic clinique par la symptomatologie ne peut pas être fiable.

En effet, une étude récente a montré qu'il existait une corrélation de 84,4 % entre les symptômes du patient et les résultats histologiques de pulpite irréversible (10). Dans cette étude, les critères histologiques de pulpite irréversible sont définis comme une nécrose partielle ou totale de la pulpe coronaire et des agrégations/biofilms bactériens ont été observés colonisant le tissu pulpaire nécrotique. Le tissu pulpaire non atteints par les agrégats bactériens présente une vitalité et un potentiel de réparation. (Illustration 5)



*Illustration 5 : (a) Radiographie périapicale de la dent n° 38 avec carie profonde. (b) Histologie de la dent n° 38 montrant une nécrose localisée dans la corne pulpaire mésiale au site d'exposition pulpaire carieuse (flèche). À quelques millimètres de la nécrose pulpaire localisée, la pulpe coronaire est exempte d'inflammation (étoile ; hématoxyline-éosine, ×16). (c) Tache bactérienne d'une section proche de celle de (b) (Brown & Brenn, × 16). (d) Grossissement plus élevé du micro abcès en (c). De nombreuses bactéries sont présentes dans le tissu nécrotique (Brown & Brenn, ×100). (10)*

L'évaluation de l'inflammation pulpaire doit commencer par un historique précis de la douleur, la réponse aux températures extrêmes, la spontanéité de la douleur, les

troubles du sommeil. Elle doit également être complétée par un examen radiographique péri apical méticuleux.

Les tests pulpaire thermiques et électriques (EPT) restent les tests cliniques appropriés à utiliser, mais sont bruts et non quantitatifs (30,31).

Bien que la tomodensitométrie à faisceau conique (CBCT) ait été proposée comme moyen efficace de détecter les lésions apicales associées à une pulpite irréversible (32). Son utilisation permet d'augmenter la précision du diagnostic ainsi que l'efficacité de la thérapeutique qui suit. Cependant il ne peut pas être recommandé comme outil de diagnostic usuel de par sa forte dose de radiation, questionnant sur la balance bénéfice-risque pour le patient.

Toutes les techniques actuelles sont limitées à la fois dans leur capacité à décrire avec précision le continuum de l'inflammation pulpaire et à déterminer le lien entre l'état inflammatoire et le potentiel de guérison du tissu affecté (13).

### 1.2.2 Diagnostic moléculaire

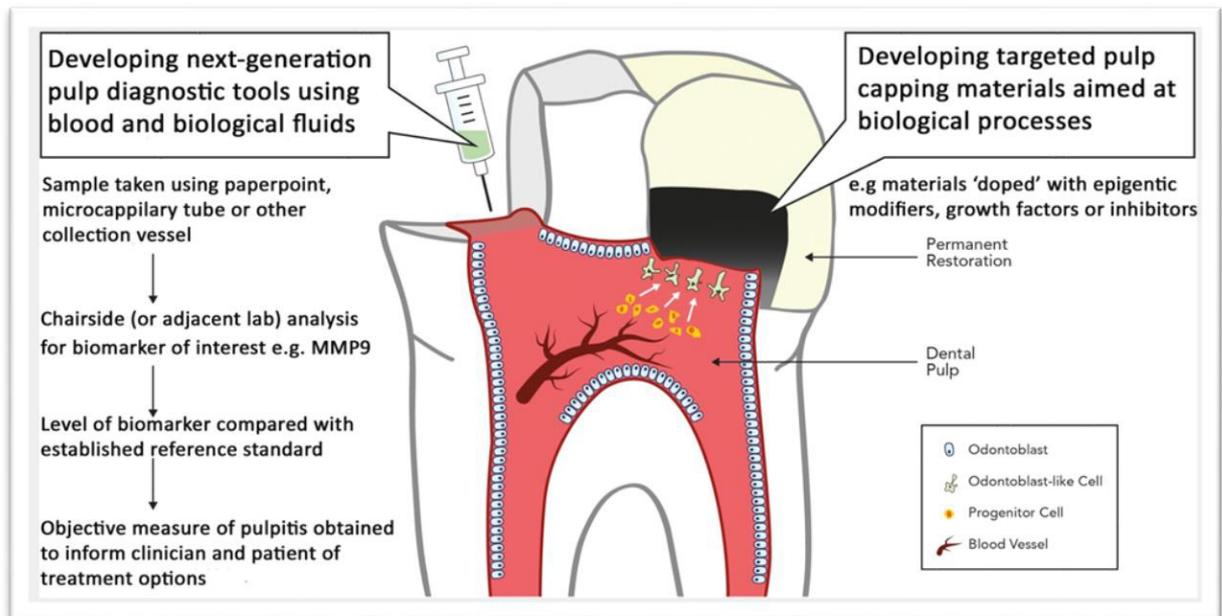
Le diagnostic clinique de la pulpite ne peut être fiable à 100%, car il est basé sur des données subjectives liées à la douleur. Afin de déterminer si une lésion carieuse profonde a entraîné une inflammation généralisée sévère de la pulpe, il faudrait s'en assurer par un examen histopathologique. Ces examens du tissu pulpaire nécessitant une extraction dentaire, de nouvelles méthodes non-invasives sont nécessaires.

L'inflammation d'un point de vue biologique peut être définie par le recrutement de cellules immunitaires et la libération de différentes molécules tels que les médiateurs inflammatoires, les cytokines, les facteurs de croissance, les protéases ainsi que le gaz tel

que le NO. Les molécules qui permettent d'évaluer le degré d'inflammation sont appelées des biomarqueurs de l'inflammation (22).

L'expression et la concentration de ces biomarqueurs au sein de la pulpe permettent de définir le processus pathologique ou la santé pulpaire. Il a été montré que l'expression d'IL-8, MMP-9 et TNF- $\alpha$  augmentent significativement en cas de diagnostic de pulpite irréversible (9). En effet, plus les neutrophiles sont présents au sein du tissu pulpaire, plus les dommages tissulaires seront importants. Les études actuelles ne permettent pas de définir un seuil à partir duquel le processus inflammatoire est trop avancé pour permettre une réparation tissulaire (22). Une étude a permis de montrer que les niveaux d'IL-6 et d'IL-1 $\beta$  étaient augmentés de façon significative dans la salive sur des patients atteints d'inflammation pulpaire ou péri-apicale (33). Une autre étude d'exploration diagnostique menée par C. Brizuela et al. en 2020 a été mise en place sur 64 patients et a permis d'établir que le liquide dentinaire peut servir de moyen de diagnostic moléculaire de l'état pulpaire. La détection a été effectuée après instrumentation de la cavité et avant communication avec la chambre pulpaire, en récoltant le liquide émanant de la dentine juxta-pulpaire ( $\leq 2$  mm). La combinaison de biomarqueurs tels que l'acide FGF + IL-6 + IL-1 $\alpha$  + TIMP-1 a permis de différencier la pulpite irréversible de la pulpite réversible (34). Cependant, les dents suivies n'ont pas été collectées pour suivre une étude histologique afin de définir le stade de l'inflammation pulpaire avec exactitude.

Il faudrait donc poursuivre cette voie et développer des outils cliniques permettant de détecter ces biomarqueurs inflammatoires de manière quantitative et qualitative au fauteuil.



*Illustration 6 : Schéma simplifié illustrant les applications potentielles de la prochaine génération d'outils de diagnostic et de biomatériaux de restauration agrémentés de molécules de l'inflammation permettant de cibler un processus de réparation cellulaire (35)*

### 1.2.3 Diagnostic Radiographique

L'étude de la lésion carieuse par clichés radiographiques préopératoires peut également permettre d'étayer le diagnostic de l'état inflammatoire pulpaire. En effet, il faut déterminer les différences radiographiques entre une carie profonde et extrêmement profonde. La carie profonde correspond à une atteinte carieuse inférieure ou égale au  $\frac{3}{4}$  de la dentine avec une zone radio-opaque de dentine séparant la carie de la pulpe. La carie extrêmement profonde correspond à une atteinte totale de la dentine (13).

Une étude orchestrée en 2021 par S. Demant et al. a démontré que la présence de bactéries au contact du tissu pulpaire était fortement corrélée à la présence d'une lésion carieuse extrêmement profonde. Le degré d'inflammation pulpaire étant souvent associé

à la pulpite irréversible lors de ce type de lésion, il a été suggéré que la radiographie périapicale préopératoire est un élément diagnostique solide sur l'état inflammatoire et la présence bactérienne pulpaire (36).

La lecture de la radiographie peut être sujette à des erreurs survenant à cause de sa complexités techniques et anatomiques, mais également de sa lecture subjective par le praticien (37). L'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) en radiographie a déjà permis l'évolution d'outils de diagnostic dans d'autres branches de la médecine. Dans le cadre d'examen du poumon (38) ou de mammographie (39), la lecture des clichés et leurs interprétations par l'IA permettent un score de risque d'erreur plus faible que par la lecture et l'interprétation humaine.

Une étude a voulu montrer que l'utilisation de l'intelligence artificielle dans la lecture de clichés radiographiques rétro-alvéolaires permet d'augmenter le taux de succès du diagnostic de l'état inflammatoire pulpaire (40). De nouvelles techniques de machine learning ont permis d'identifier que le cliché radiographique panoramique pouvait apporter un outil de diagnostic de la pulpite (41)

L'IA permettrait de recouper des données histopathologiques, symptomatiques et cliniques afin d'établir de nouvelles corrélations entre celles-ci. L'IA peut donc devenir un outil du quotidien du dentiste dans la détection de la lésion, dans l'aide au diagnostic mais aussi dans l'appréciation du succès d'une thérapeutique. La communauté des professionnels de santé pourrait également utiliser ces outils en tant que banque de données pour de futures études, et permettre l'ascension de ces outils dans la pratique quotidienne (42).

### 1.3 Principe de traitement

L'ESE (The European Society of Endodontology) et l'AAE (American Association of Endodontists) ont établi le traitement de la pulpite en fonction de l'ancienne terminologie, à savoir réversible ou irréversible (8,13,43). La volonté générale de préciser les terminologies des pulpites permettrait d'être plus précis dans la prise de décision thérapeutique concernant les thérapies de maintien de la vitalité pulpaire (VPT) (4,44,45).

Le diagnostic de la pulpite aiguë irréversible sera donc établi selon l'historique du patient, de la symptomatologie, d'un examen clinique et radiographique, ainsi que de tests de vitalité pulpaire. La thérapeutique à employer sera déterminée en fonction de la sévérité de l'atteinte pulpaire. En suivant le gradient thérapeutique, l'ESE a établi la démarche à suivre afin d'utiliser des thérapies de vitalité pulpaire (VPT = Vital Pulp Therapy) plutôt que le traitement canalaire conventionnel non chirurgical (NSRCT = Non Surgical Root Canal Treatment). Les VPT sont un ensemble de procédures visant à maintenir l'intégrité des tissus vivants sains. Le but est de conserver la vitalité des dents et d'éliminer les tissus infectés, ainsi que de protéger la plaie pulpaire non infectée et d'induire sa réparation grâce à l'apposition de biomatériaux bio compatibles (43). Elle comprend le coiffage pulpaire indirect, le coiffage pulpaire direct et la pulpotomie, subdivisée en pulpotomie partielle et totale.

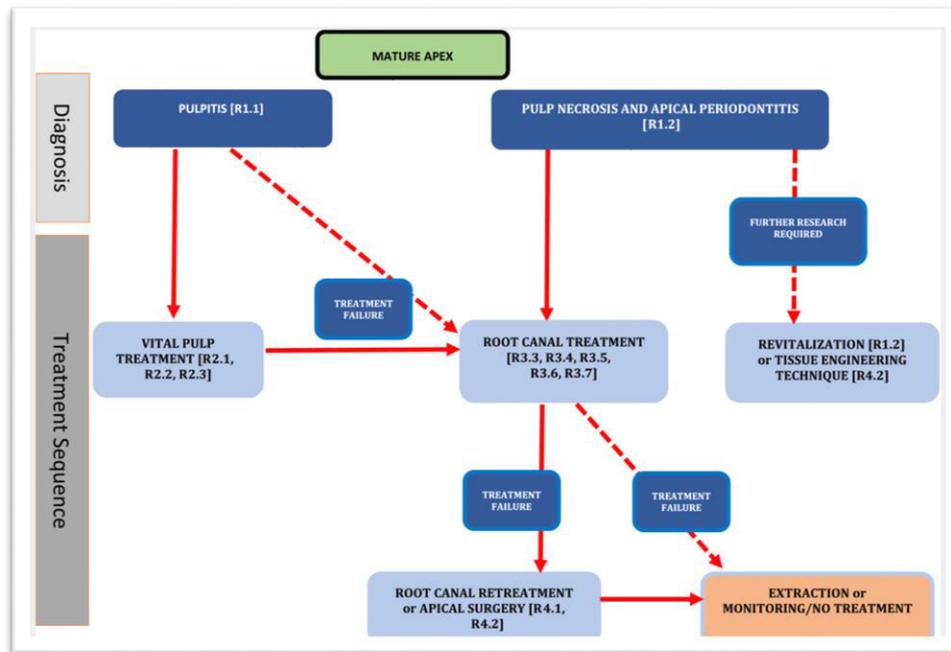


Illustration 7 : Arbre décisionnel des thérapies sur les dents matures proposé par l'ESE en fonction du gradient thérapeutique (43)

### 1.3.1 Éviction canalaire complète (ou NSRCT)

Le traitement canalaire non-chirurgical (NSRCT) consiste en l'éviction de la totalité du tissu pulpaire, de la désinfection du système canalaire et de la mise en place d'un matériau de comblement canalaire. L'acte consiste à l'instrumentalisation du canal afin de favoriser sa désinfection et son obturation. Il a pour objectif de maintenir l'asepsie du complexe pulpaire dans le temps et de permettre la guérison des tissus péri apicaux (46).

L'ESE décrit en 2023 les indications actuelles de la NSRCT sur des dents matures permanentes vivantes nécessitant une restauration prothétique avec un ancrage radiculaire, des dents atteintes d'une parodontite apicale aiguë, d'une nécrose de la pulpe ou d'un échec d'une VPT sur une dent en état de pulpite aiguë irréversible (43).

Le NSRCT est actuellement la thérapie pulpaire la plus utilisée par les cliniciens en raison de l'inexactitude du diagnostic de l'état inflammatoire pulpaire. En effet, la thérapeutique d'éviction du tissu pulpaire, qu'il soit partiellement ou totalement infecté,

est considérée comme un traitement prophylactique car elle permet de prévenir la surinfection et la ré-instrumentation. Elle reste le traitement de référence pour traiter les atteintes carieuses profondes et les pulpites aiguës des dents permanentes matures (47,48).

En réalité, le NSRCT présente des inconvénients dans la pratique dentaire quotidienne. Le traitement est présenté comme un acte long, complexe, coûteux et dépendant de l'aptitude du praticien à le pratiquer. (49). En effet, la sur-instrumentation et le risque de dommage iatrogène sont des causes qui compromettraient l'intégrité de la dent et le maintien de celle-ci sur l'arcade dentaire. Une dentisterie moins invasive qui respecte la vitalité pulpaire permet d'éviter le risque de sur-instrumentation et d'augmenter le rapport coût-efficacité du traitement de la pulpite aiguë irréversible (50).

La préservation de la vitalité pulpaire est au cœur de la dentisterie contemporaine car sa mise en pratique permet d'utiliser le potentiel réparateur du complexe dentino-pulpaire. L'étude de Ricucci et al. de 2019 fournit des résultats sur la mise en pratique des VPT sur les dents matures permanentes atteintes de lésions carieuses profondes. Cette revue montre un intérêt de la VPT comme une pratique pouvant être une alternative à la NSRCT. En effet, elle a pour avantage d'être une thérapeutique moins invasive permettant de conserver les tissus dentaires et de préserver la vitalité pulpaire afin de maintenir les mécanismes de défenses immuno-inflammatoires et de réduire le risque de fractures dentaires. Cette étude met en évidence le taux de réussite des VPT comme étant comparable à celui de la NSRCT sur un suivi de 5 ans (50).

Un essai randomisé contrôlé de 2017 présenté par Galani et al. a comparé les taux de succès au terme de 18 mois de suivi, entre la pulpotomie totale et la NSRCT sur des dents matures permanentes atteintes de lésions carieuses profondes. Le succès a été défini comme la combinaison du succès clinique (absence de douleur, de gonflement, de tractus sinusal et de la présence d'une restauration intacte) et du succès radiographique (radiographie rétro-alvéolaire présentant un index péri apical de 1). La proportion étant de 82% pour la pulpotomie totale et de 78% pour la pulpectomie (51). Les preuves fournies ne permettent pas de généraliser à la pratique dentaire, mais permettent

néanmoins de mettre en évidence un avantage de la pulpotomie concernant le coût et le temps de l'intervention, ainsi que le caractère moins invasif de celle-ci (43)

Une étude rétrospective effectuée en 2014 par Di Filippo et al. a voulu mettre en évidence la prévalence de la parodontite apicale et de la qualité des NSCRT effectuées dans une population londonienne. La présence de cette maladie correspond à un échec de la thérapie selon l'ESE (13). Cette étude propose de mettre en lumière le taux de réussite de la NSRCT dans un environnement de pratique quotidienne. En effet, sachant que le taux de réussite de la NSRCT avoisine les 90 % (48) dans un environnement contrôlé tel que les universités où se déroulent les études, il est intéressant de s'attarder sur la pratique usuelle de la NSRCT. Sur 3396 dents observées, 115 dents présentaient une NSRCT dont 44 atteintes d'une parodontite apicale (38,5%), alors que la prévalence totale de la maladie sur l'étude était de 4,1% sur les 3396 dents étudiées (52).

La question de la systématisation de la NSRCT en réponse à un diagnostic de pulpite aiguë irréversible se pose. Outre son caractère coûteux et praticien-dépendant, la pratique de la pulpectomie ne permet à aucun moment d'allier le potentiel de réparation de l'organe dentaire à la pratique. Le dilemme concernant la nécessité du NSCRT doit se poser dès la prise en charge du patient en urgence. L'ouverture de la chambre pulpaire systématique en vue d'une éviction canalaire complète ne devient-elle pas une vision simplifiée du traitement en urgence de la pulpite irréversible ? Peut-on mettre en place un protocole rigoureux afin d'appliquer les principes de dentisterie conservatrice en traitement d'urgence ?

### 1.3.2 Éviction canalaire partielle

#### 1.3.2.1 Le coiffage pulpaire indirect, l'éviction carieuse sélective en 1 étape et l'éviction carieuse stepwise

Selon l'ESE en 2019, le coiffage pulpaire indirect est une thérapie vitale pulpaire (VPT) qui permet l'application d'un biomatériau sur une barrière dentinaire dure et non carieuse. La technique d'élimination des tissus carieux se fait en une seule étape et est considérée comme non sélective, car ne prend pas en compte la profondeur de la lésion carieuse. Cette excavation est considérée comme plus agressive que l'éviction carieuse sélective en une ou deux étapes (13). L'AAE en 2020 indique le coiffage pulpaire indirect lorsque le traitement des lésions carieuses profondes sur des dents permanentes immatures ne permet pas l'élimination complète de la dentine infectée, sous risque d'exposition pulpaire (8).

Selon l'ESE en 2019, la lésion carieuse profonde sur une dent mature permanente asymptomatique ou présentant des signes cliniques de pulpite réversible doit être traitée par une ablation sélective du tissu carié en une ou deux étapes. L'éviction carieuse non sélective n'est plus considérée comme le traitement de choix de cette maladie et est considéré comme un sur-traitement par consensus (53)

L'éviction carieuse sélective consiste à l'élimination du tissu dentaire infecté jusqu'à une dentine dure ou molle juxta-pulpaire, évitant l'exposition pulpaire. Elle est suivie par l'application d'un biomatériau sur la dentine, ainsi que la réalisation de la restauration définitive dans la même séance.

L'éviction carieuse stepwise consiste à l'éviction sélective de la dentine infectée, suivie par l'application d'un biomatériau et la réalisation d'une restauration provisoire. Une réinstrumentation est nécessaire à 6-12 mois afin de réaliser la restauration définitive.

Le tissu carieux doit être éliminé en périphérie de la cavité pour permettre une étanchéité du matériau de restauration. L'excavation se fait grâce à une fraise ronde sur rotatif et se termine par une excavation manuelle sur la face pulpaire de la cavité, sous constante irrigation et sous asepsie par une digue dentaire en caoutchouc (54).

Une étude randomisée sur 3 ans orchestrée par Maltz et al. a montré que le taux de réussite de l'éviction en 1 ou 2 étapes était différents. En effet, l'éviction carieuse sélective en 1 étape permettait la réussite du coiffage pulpaire indirect lors de 90 % des cas, tandis que celle en 2 étapes (stepwise) le permettait seulement lors de 70% des cas (55) Cela peut-être expliqué par le manque d'étanchéité du matériau de restauration provisoire et la difficulté du maintien de l'hygiène bucco-dentaire au court des 6-12 mois de temporisation.

Une étude clinique a établi que l'éviction carieuse sélective est indiquée sur des dents permanentes matures présentant des lésions carieuses profondes juxta-pulpaire et des signes cliniques de pulpites réversibles (56). L'étude a montré un taux de succès du coiffage pulpaire indirect de 77.8 % pour la Biodentine® à 24 mois. La sévérité des symptômes semble jouer un rôle dans le succès thérapeutique. L'utilisation d'un biomatériau de coiffage tel que les ciments hydrauliques de silicate de calcium sous la restauration est indiqué par l'ESE. Un ciment verre-ionomère conventionnel pourra également être utilisé comme matériau de coiffage pulpaire indirect avec un taux de réussite équivalent à celui de la Biodentine®(56).

#### 1.3.2.2 Le coiffage pulpaire direct

Le coiffage pulpaire direct est une thérapie de maintien de la vitalité pulpaire lors d'une exposition pulpaire traumatique, iatrogène ou carieuse. Le traitement consiste en la mise en place d'un biomatériau de coiffage directement sur la pulpe exposée et de l'obturation de la cavité dans la même séance. L'utilisation d'un ciment hydraulique de silicates de calcium est indiquée par l'ESE, contrairement à l'application d'hydroxyde de calcium comme le préconise l'AAE (8,13).

L'ESE indique le coiffage pulpaire direct sur des dents matures présentant une lésion carieuse profonde à très profonde et des signes cliniques et radiographiques de pulpite réversible aiguë. La santé pulpaire préopératoire doit être confirmée par des tests de sensibilités pulpaires et par la présence de tissus pulpaires vitaux lors de l'exposition (13).

L'exposition pulpaire se fait sous un protocole opératoire méticuleux. Lors de l'éviction carieuse, une ablation non sélective doit être effectuée sous asepsie avec des instruments rotatifs stériles et une digue en caoutchouc. L'élimination non sélective de la dentine infectée doit se faire entièrement avant l'exposition pulpaire. La procédure doit se faire à l'aide de grossissement pour évaluer le tissu pulpaire et vérifier l'ablation de toute la dentine molle. Le contrôle de l'hémostase doit se faire à l'aide d'une boulette de coton imbibé d'hypochlorite de sodium (0,5 % à 5 %) ou de Chlorhexidine (0,2 % à 2 %), et doit se limiter à 5 minutes (57).

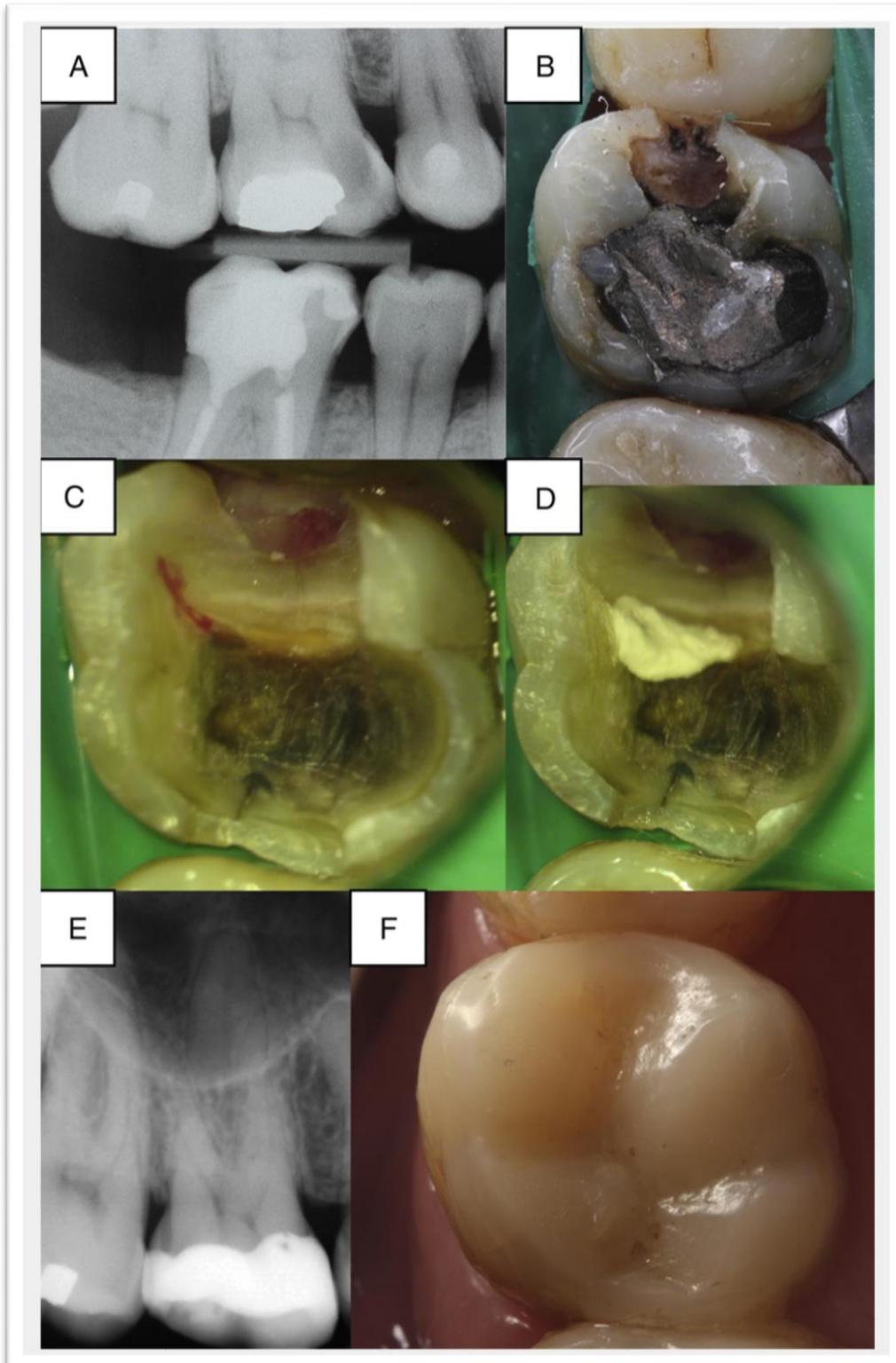
Les critères d'exclusion sont définis par une dent présentant des caractéristiques symptomatiques de pulpite irréversible, d'un saignement pulpaire continu et incontrôlable, de la présence de tissus nécrotiques dans la chambre pulpaire ou d'une couronne dentaire impossible à restaurer. Une éviction carieuse après exposition pulpaire conduira à la mise en place d'une pulpotomie partielle ou totale afin d'éliminer la pulpe dentaire infectée.

Les critères de succès du coiffage pulpaire direct sont établis à 1 an de suivi post-traitement. Ils sont l'absence de signes cliniques de douleur spontanée, de sensation à la palpation/ percussion, l'absence de signes radiographiques mettant en évidence une parodontite périapicale et une réponse positive indolore aux tests de sensibilité pulpaire (58).

Une étude menée en 2015 par Marques et al. a cherché le taux de réussite de cette VPT sur des dents atteintes de pulpites réversibles, en utilisant le mineral trioxyde agrégat (MTA) comme agent de coiffage pulpaire après éviction complète non sélective du tissu carieux induisant une exposition pulpaire. La procédure clinique impliquait une restauration provisoire au ciment d'Oxyde de Zinc/eugénol, suivi d'une restauration

composite directe à 4-12 semaines post-opératoire. A 3 ans de suivi post opératoire, il a été montré un taux de succès de 91,3% de son utilisation dans le cadre d'un coiffage pulpaire direct. (59)

De plus, une revue systématique de la littérature a défini que le MTA avait un meilleur taux de succès comparé à l'hydroxyde de calcium à 12 mois et à 2-3 ans, mais présente un taux équivalent à 6 mois (58).



*Illustration 8 : Traitement de la première molaire maxillaire droite. (A) Radiographie initiale avec carie profonde, (B) photographie clinique initiale avec carie occluso-mésiale étendue, (C) exposition pulpaire avec saignement de la corne pulpaire mésio-vestibulaire, (D) coiffage pulpaire direct au MTA*

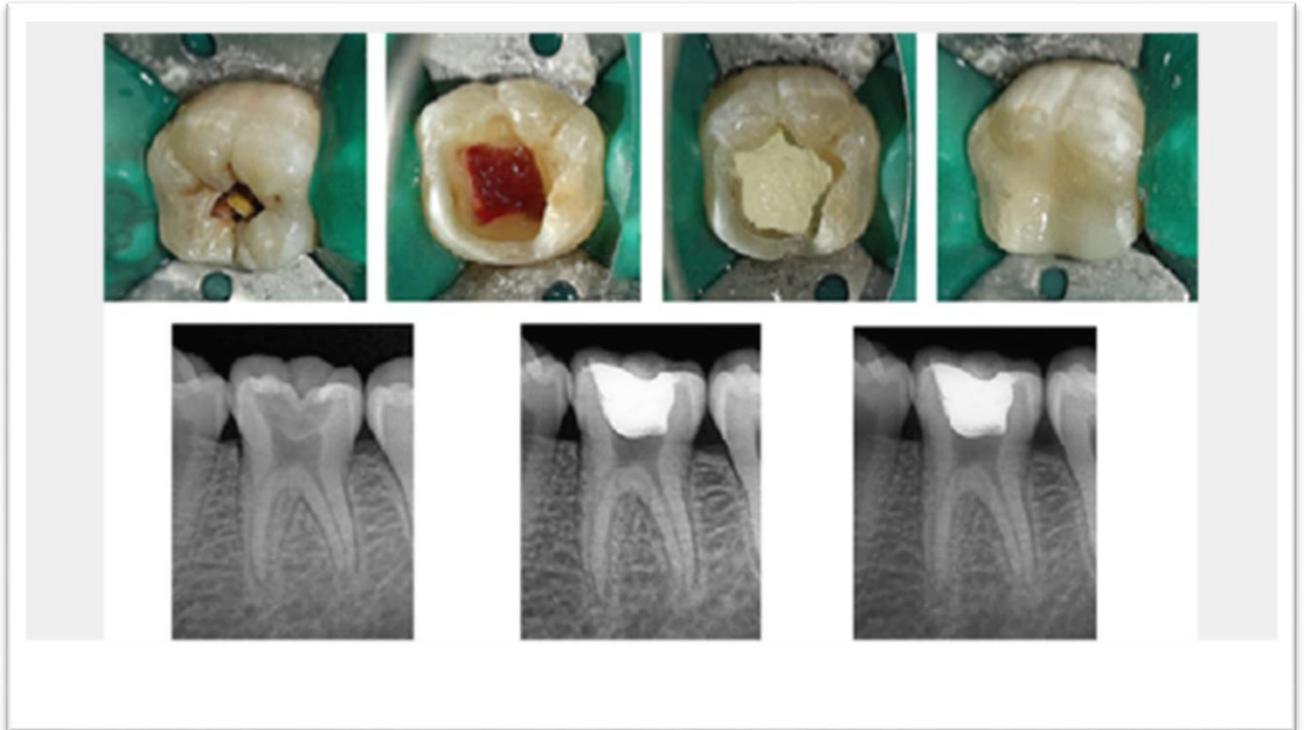
*sur la corne pulpaire MV et la dentine environnante, (E) radiographie de suivi à 23 mois post-opératoire et (F) photographie clinique de suivi après 23 mois (59).*

### 1.3.3 La pulpotomie, une éviction pulpaire partielle ou totale

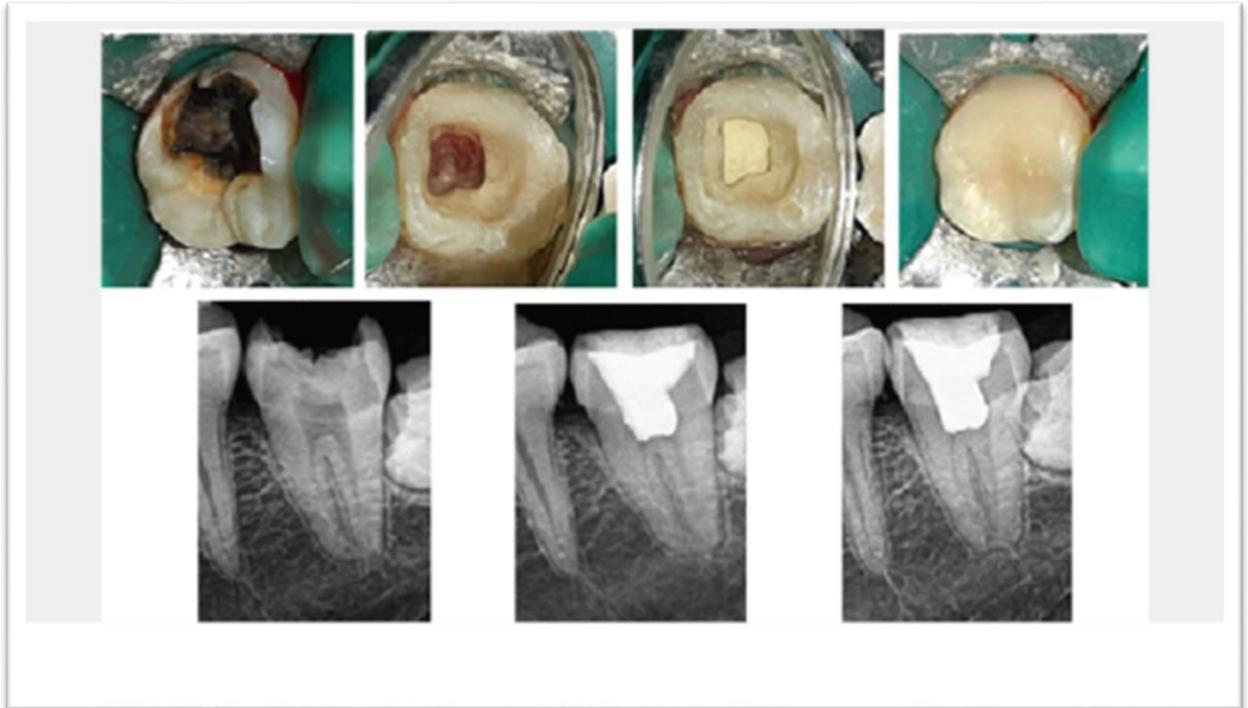
Les recommandations de l'ESE en 2019 évoquent que suite à une exposition pulpaire issue d'une lésion carieuse, une ablation complète (Full Pulpotomy = FP) ou partielle (Partial Pulpotomy = PP) du tissu pulpaire, suivi de l'apposition d'un biomatériau sur la pulpe coronaire restante ou radiculaire, était indiquée. La PP est indiquée dans le cadre de pulpites réversibles sur des dents permanentes matures alors que la FP est indiquée dans des cas d'inflammation partielle irréversibles présents dans la pulpe camérale (13).

Le diagnostic de l'état inflammatoire est difficile et résulte de signes cliniques et symptomatologiques variables selon le patient. Une étude menée en 2014 par Ricucci et al. a démontré que le diagnostic clinique de la pulpite était confirmé histologiquement à 96.6% lors de la pulpite réversible et à 84.4% lors de la pulpite irréversible (10).

Un tissu pulpaire exposé et endommagé peut être traité par un coiffage pulpaire direct ou une ablation partielle ou totale du tissu pulpaire endommagé. Comme le degré de l'inflammation pulpaire est difficilement identifiable cliniquement, l'ESE propose qu'une certaine portion de tissu pulpaire soit enlevée en cas d'exposition carieuse. Cela permettrait l'élimination physique du biofilm bactérien et du tissu pulpaire enflammé et/ou nécrotique (60). L'ESE propose également qu'en cas d'éviction carieuse post exposition pulpaire, une pulpotomie peut être indiquée afin d'éviter les risques d'infections par les éclats de dentine (13)



*Illustration 9 : Pulpotomie partielle sur une molaire mandibulaire mature. Amputation du tissu pulpaire sur 2-3 mm grâce à une fraise boule diamantée stérile montée sur un instrument rotatif à haute vitesse sous irrigation constante (61).*



*Illustration 10 : Pulpotomie complète sur molaire mandibulaire mature. Amputation du tissu pulpaire jusqu'aux orifices radiculaires grâce à une fraise boule diamantée stérile montée sur un instrument rotatif à haute vitesse sous irrigation constante (61).*

Selon HF. Duncan, il existe une absence de consensus sur la meilleure façon de traiter les caries très profondes avec une exposition pulpaire lors d'un diagnostic de pulpite irréversible. Cela entraîne une faible constance dans la standardisation de la prise de décision ainsi que dans les soins prodigués aux patients atteints de pulpites irréversibles. Cette absence de consensus ainsi que l'intérêt global de maintenir la vitalité pulpaire dans le traitement de la maladie carieuse se traduit par de nombreuses études visant à définir la FP ou la PP comme des traitements de la pulpite irréversible (35).

Par exemple, une revue systématique de la littérature par Cushley et al en 2019 a permis de mettre en évidence un taux de réussite clinique et radiographique de la FP sur des dents présentant des signes cliniques et des symptômes de pulpite irréversible. Elle montre un taux de succès de 95% à 12 mois et de 88% à 36 mois de suivi (62).

La PP aurait un taux de succès inférieur sur des dents permanentes matures présentant des signes cliniques de pulpite irréversible, selon une revue systématique de la littérature effectuée en 2019 par Elmsmari et al. En effet, le taux de succès à 12 mois de la PP serait de 75 % sur des dents présentant une pulpite irréversible et de 98 % sur des dents présentant une pulpite réversible (63).

## 2 Le traitement de la pulpite irréversible par la pulpotomie cervicale / totale / camérale (FP)

La volonté de différentes institutions telles que l'ESE et l'HAS est de répondre à une demande d'intervention *a minima* et d'une économie tissulaire dans les pratiques endodontiques, respectant ainsi le gradient thérapeutique. Cette thérapie de maintien de la vitalité pulpaire pourrait être une alternative au traitement endodontique, encore faut-il qu'elle corresponde aux caractéristiques d'une thérapeutique à visée définitive. Nous allons tout d'abord essayer de comprendre l'apport de la FP dans le traitement de la pulpite irréversible par rapport à la PP. Nous définirons ensuite les critères de succès de la FP afin de la définir comme une alternative pertinente du NSRCT. Enfin nous nous attarderons sur les critères pouvant influencer le succès de la FP, ce qui nous permettra l'élaboration d'un protocole clinique.

### 2.1 Comparaison de la pulpotomie complète et de la pulpotomie partielle

Les avantages de la pulpotomie complète (FP) par rapport à la pulpotomie partielle (PP) concernent la difficulté du diagnostic du processus inflammatoire. En effet, l'étendue de l'atteinte de la pulpe et le caractère de réparation de celle-ci peut être difficilement établie cliniquement lors d'un diagnostic de pulpite irréversible.

Des essais cliniques randomisés ont tenté de mettre en perspective les taux de succès de la FP et de la PP lors d'un état inflammatoire irréversible de la pulpe. L'étude de A. Ramani et al. en 2022 a montré un taux de succès plus élevé pour les FP (89,8 %) que pour les PP (80,8 %), sans différence notable. Le succès du traitement est défini par la diminution des douleurs post-opératoires lors d'un suivi toutes les 24h pendant une semaine, et par l'absence de signes cliniques et radiographiques à 12 mois (61). L'étude

de A. Jassal et al. en 2023 a permis de trouver des taux de succès similaires avec un suivi de la douleur à 24h, 48h et à 7 jours de l'opération, et un succès clinique et radiographique évalué à 3,6 et 12 mois après l'opération (64).

L'ESE indique en 2019 qu'en cas de pulpite irréversible, la pulpotomie complète serait plus facile à réaliser que la pulpotomie partielle lorsque l'accès au grossissement n'est pas possible (13). En effet, la difficulté à établir l'atteinte inflammatoire pulpaire permet de définir la FP comme une thérapeutique offrant une plus grande chance d'éliminer les tissus pulpaire infectés et enflammés (65).

La FP permet une meilleure irrigation, un meilleur nettoyage de la pulpe et un accès facilité aux zones non inflammatoires permettant une facilitation dans l'hémostase. Le procédé d'éviction de la totalité de la pulpe camérale permet de créer un espace suffisant pour la mise en place du biomatériau de coiffage et de la restauration coronaire, permettant l'élaboration d'un joint tridimensionnel étanche et favorisant la possibilité de succès du traitement (65).

La PP propose cependant des avantages que la FP ne propose pas. Le principe de la PP et le maintien de la vitalité dans la chambre pulpaire permet la préservation d'un pool de cellules plus riche et d'une apposition dentinaire tertiaire formant une barrière biologique minéralisée (60). La FP retire toutes les cellules présentes dans la chambre pulpaire et induit alors une variation dans les tests de vitalité pulpaire post-opératoires qui utilisent les fibres neurosensorielles pulpaire.

Cependant, une analyse rétrospective d'études cliniques menée par Aravind et al. en 2022 a mis en lumière la différence de réponse aux tests de sensibilité pulpaire sur des dents mandibulaires matures atteintes de pulpites irréversibles et traitées par une FP. Les tests de sensibilité pulpaire étudiés sont le test de sensibilité au froid et le test de sensibilité électrique, et ont été effectués à 12 mois post-opératoire. Sur les dents où la FP a été qualifiée de succès clinique et radiographique, 94,7 % des dents répondent au test de sensibilité électrique, contrairement à 13,5 % d'entre elles par le test de sensibilité au froid (66).

Une dent dotée d'un complexe dentino-pulpaire vivant sera plus résistante à long terme qu'une dent traitée par NSRCT. Elle sera moins sujette aux risques de fractures, d'infections périapicales résiduelles et d'atteintes carieuses (67). La FP est une thérapie qui est considérée comme moins invasive, techniquement plus simple et moins chronophage que la NSRCT. La FP est considérée comme moins coûteuse, moins chronophage et moins opérateur dépendant qu'un traitement canalaire classique et elle demande une instrumentation moins complexe (47).

La FP a été évaluée comme n'amenant pas d'avantages notoires concernant la prévention de la douleur postopératoire, comparativement au NSRCT (68).

La pulpotomie peut cependant entraîner une oblitération pulpo-canalaire (OPC), défini comme la réponse pulpaire à un traumatisme caractérisé par l'apposition rapide de tissu dur dans l'espace canalaire (8). L'OPC peut rendre la ré-intervention par NSRCT difficile en cas de complication de nécrose pulpaire ou de parodontite apicale, mais sa prévalence reste inconnue (13). La recherche de la prévalence de l'OPC après une pulpotomie est un axe de recherche important dans la balance bénéfice-risque de la thérapeutique (68).

## 2.2 Critères de succès de la pulpotomie complète

La pulpotomie complète / camérale / cervicale (FP) est une procédure cherchant à maintenir la santé pulpaire canalaire. Selon l'ESE (2019), la FP est une thérapeutique de maintien de la vitalité pulpaire (VPT) définie par l'éviction de la totalité de la pulpe camérale et l'application d'un biomatériau de coiffage sur la pulpe radiculaire, au niveau des orifices canaux. Après avoir retiré la pulpe enflammée, la dent doit être restaurée de manière permanente le plus rapidement possible afin de permettre la guérison du complexe dentino-pulpaire (13).

Une revue de la littérature menée par M. Zanini et al. en 2016 ont cherché à comprendre les critères de succès utilisés dans les études lorsqu'ils sont comparés à ceux d'une thérapie pulpaire définitive. Il a été conclu que les critères de succès d'une thérapie endodontique telle que la pulpotomie camérale / complète (FP) devraient être définis comme ceux du NSRCT. Cela permettrait d'asseoir l'idée selon laquelle la FP est une alternative de thérapie définitive au traitement de la pulpite (69).

Les critères de succès en endodontie ont traditionnellement été conçus sur des variables cliniquement et radiologiquement définissables.

Le succès clinique de la FP est l'absence de douleurs spontanées et provoquées à la percussion et à la palpation, ainsi que l'absence de besoin de réintervention par un traitement canalaire. Le succès est défini par l'absence de mobilité dentaire, de gonflement, d'abcès ou de fistulisation en regard de la dent traitée (70).

Le succès radiographique de la FP est défini par l'absence de radio transparence péri-apicale, d'un épaissement ligamentaire ou d'une diminution de la radio transparence de la lésion péri-apicale déjà existante (70). Le succès est défini par la continuité de la formation radiculaire des dents immatures, mais également de l'absence d'une résorption interne radiculaire (46). L'oblitération radiculaire n'est pas considérée comme un échec par l'ESE en 2019, car il manque des données concernant sa prévalence.

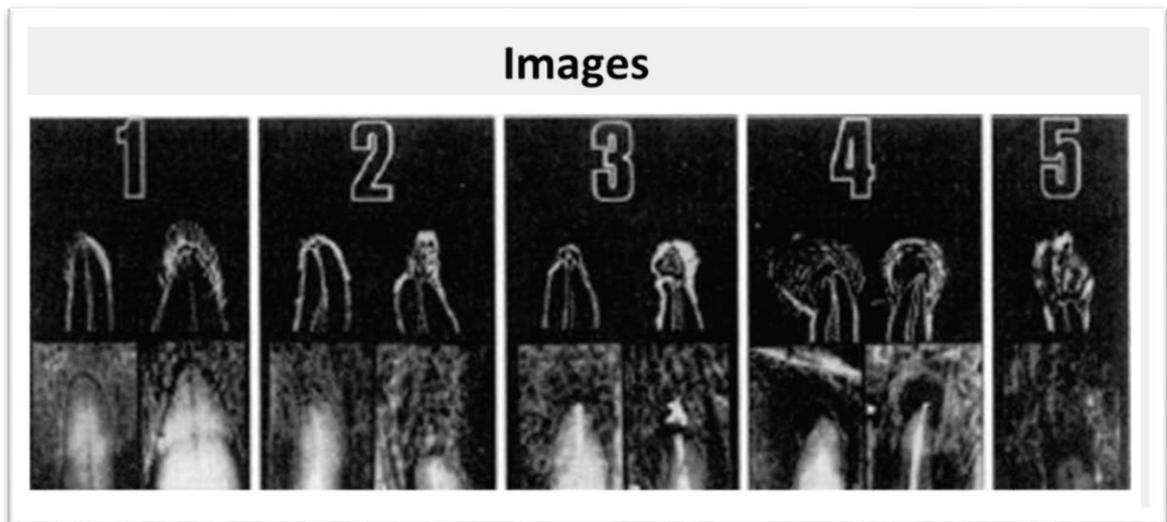
Le succès va également être conçu vis-à-vis de la perception du patient sur le succès de la VPT. L'ESE a donc mis en place un tableau de critères permettant l'évaluation du succès de la pulpotomie en prenant en compte les critères de succès perçus par le patient, catégorisés selon leur niveau d'importance (Tableau 2).

Résultats	Pertinence	Association du résultat par le patient (PROM) ou par le praticien (CROM)	Temps de suivi recommandé par l'ESE (minimum et maximum)	Outils nécessaires à la mesure du résultat
Survie de la dent	Capitale	PROM/CROM	Minimum : 1 an Maximum : le plus long possible	Examen clinique Historique du patient
Douleur, sensibilité à la palpation/ percussion et besoin de médicaments antalgiques	Capitale	PROM	Minimum : 7 jours Maximum : 3 mois	Examen clinique Échelle graduelle de la douleur
Radio-transparence apicale	Capitale	CROM	Minimum : 1 an Maximum : le plus long possible	Radiographie rétro-alvéolaire Scanner CBCT
Vitalité pulpaire	Capitale	CROM	Minimum : 1 an Maximum : le plus long possible	Test de sensibilité pulpaire thermique et/ou électrique
Fonction dentaire (fracture, longévité de la restauration)	Importante	PROM	Minimum : 1 an Maximum : le plus long possible	Examen clinique Historique du patient

Besoin de réintervention	Importante	PROM	Minimum : 1 an Maximum : le plus long possible	Examen clinique Historique du patient
Méfait du traitement (exacerbation de la douleur, intégrité de la restauration, allergies)	Importante	PROM	Minimum : 1 an Maximum : le plus long possible	Examen clinique Historique du patient
GOHAI	Importante	PROM	Minimum : 6 mois Maximum : le plus long possible	Questionnaire GOHAI validé
Abcès et Fistulisation	Importante	CROM	Minimum : 1 an Maximum : le plus long possible	Examen clinique et radiographique

*Tableau 2 : Résultats attendus de la pulpotomie classés par ordre de priorité, avec leurs temps de suivi et les outils recommandés dictés par l'ESE (71)*

Le succès radiographique peut être difficilement défini car la lecture de la radiographie périapicale est complexe (outils et opérateur dépendant). Le succès radiographique peut être traditionnellement lu grâce à l'identification de l'indice péri-apical (PAI) préopératoire et post-opératoire. Le PAI est un indice facilement utilisable et reproductible, donnant une échelle de santé péri-apicale en fonction de la radio-transparence lue à la radiographie retro-alvéolaire (72).



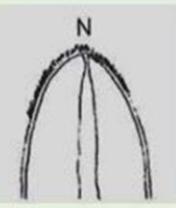
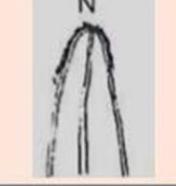
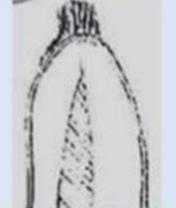
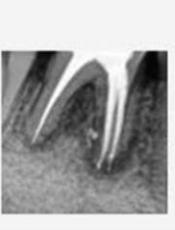
*Illustration 11 : Radiographies et dessins de références associées à leurs scores de PAI présenté par Ørstavik en 1986 (72)*

PAI	Description des images radiographiques
1	Structure apicale saine
2	Changements minimes des structures osseuses
3	Changements des structures osseuses avec une déminéralisation
4	Parodontite apicale avec une radioclarité bien définie
5	Parodontite apicale avec une radioclarité bien définie, avec des signes cliniques d'exacerbation

*Tableau 3 : Grille de lecture du PAI (72)*

Il semblerait que le PAI d'Ørstavik soit plutôt adapté dans une lecture radiographique de recherche et ne semble pas correspondre aux attentes quotidiennes de la pratique dentaire (73). Il a été proposé une version simplifiée par le projet d'étude de Zanini et al. en 2021 utilisable et facilement reproductible, permettant d'être appliqué à

l'apprentissage des étudiants en faculté dentaire (74). Elle permettrait d'éviter l'utilisation systématique du scanner CBCT pour la détection de lésions péri-apicales, qui n'est pas recommandé au niveau européen, car ayant un taux de radiation trop élevé (75).

<p><b>1</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Largeur étroite et uniforme de l'image du ligament.</li> <li>• Ligne radio-opaque uniforme et étroite signant une lamina dura continue et saine bordant l'espace desmodontal.</li> </ul>		
<p><b>2</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Léger élargissement régulier de l'image du ligament au niveau du foramen.</li> <li>• Ligne radio-opaque de la lamina dura uniforme et étroite, presque continue.</li> </ul>		
<p><b>3</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interruption irrégulière de l'image du ligament au niveau apical témoignant d'une déminéralisation diffuse en regard du foramen et/ou autour d'excès de matériau d'obturation.</li> <li>• Ligne radio-opaque de la lamina dura irrégulière et interrompue au niveau apical.</li> </ul>		
<p><b>4</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Image radioclaire délimitée en forme de ballon ou de coquille à paroi régulière et témoignant d'une déminéralisation importante autour de l'apex et/ou autour d'excès de matériau d'obturation.</li> <li>• Ligne radio-opaque de la lamina dura totalement disparue en relation avec l'image radioclaire.</li> </ul>		
<p><b>5</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Image radioclaire en forme de ballon témoignant d'une déminéralisation importante autour de l'apex et/ou autour d'excès de matériau d'obturation mais avec des contours diffus.</li> <li>• Ligne radio-opaque de la lamina dura totalement disparue en relation avec l'image radioclaire.</li> </ul>		

*Illustration 12 : Guide de lecture pratique présenté par Zanini en 2021 afin de compléter la grille de lecture du PAI par Ørstavik (74)*

La Haute Autorité de Santé a déterminé les échelles d'évaluation de la douleur par le patient utilisables dans les établissements de santé en France (76). Chez l'adulte en

odontologie, on utilise des échelles d'auto-évaluations parce que le patient est dans un état de conscience général acceptable. L'échelle numérique (EN) est une graduation allant de 0 à 100. L'échelle verbale simple (EVS) peut être définie par une approche simplifiée de la douleur du patient, catégorisant la douleur d'absente à extrêmement intense de 0 à 4. L'échelle visuelle analogique (EVA) permet une mesure de la douleur avec une face patient et une face mesure différente.

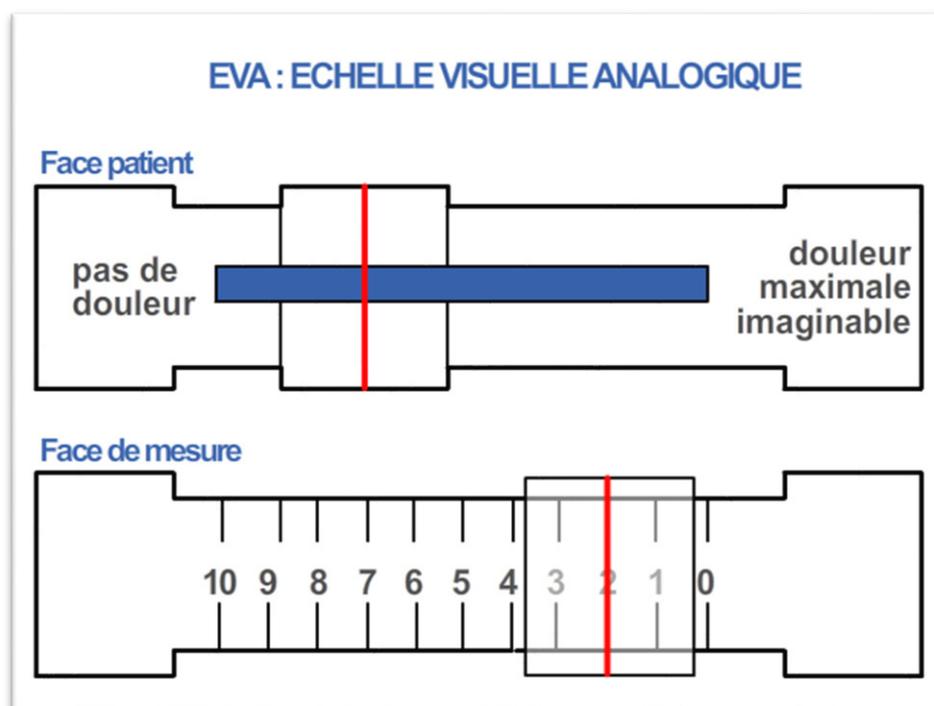


Illustration 13 : Échelle visuelle analogique (EVA)

	Score	Douleur absente	Douleur faible	Douleur modérée	Douleur intense	Douleur insupportable
--	-------	-----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------------

EVS	0 - 4	0	1	2	3	4
EVA (en cm)	0 - 10	0	1 - 3	4 - 5	6 - 7	8 - 10
EN	0 - 100	0	1 - 39	40 - 59	60 - 79	80 - 100

*Tableau 4 : Tableau de correspondance des niveaux de douleur pour l'indicateur « Évaluation et prise en charge de la douleur » (76)*

Récemment, le point de vue du patient et sa qualité de vie en relation à la santé oral (Oral Health-Related Quality of Life = OHRQoL) est devenu une variable dans la définition du succès d'une thérapie endodontique dans les lignes directives de l'ESE en 2021 (71). Cet indice utilisé par l'ESE est mesuré à partir d'un questionnaire sur l'impact de la santé orale (Oral Health Impact Profile = OHIP) défini par Dugas et al. en 2002 (77) se basant sur des critères définis par GD Slade et AJ Spencer en 1994 (78).

En France, une étude de santé publique a été conduite par S. Tubert-Jeannin et al. pour mettre en place ce questionnaire en 2003 (79). Il repose sur les 12 critères décrits dans l'indice d'évaluation de la santé bucco-dentaire gériatrique (Geriatric Oral Health Assessment Index = GOHAI) aux USA en 1990. L'indice est évalué en pré et post opératoire sur un score de 1 à 5, défini par la réponse aux questions (jamais (1), rarement (2), parfois (3), souvent (4), toujours (5)). Le score du Add-GOHAI (somme des réponses) est compris entre 12 et 60 et indique une meilleure santé bucco-dentaire si le score est élevé. Pour un score de 57 à 60, la santé bucco-dentaire est considérée comme satisfaisante, pour un score de 51 à 56 comme modérée et pour un score inférieur ou égale à 50 comme insatisfaisante (80). Le score de la santé orale des patients peut alors être comparé avant et après l'intervention.

Le questionnaire peut se matérialiser sous forme du tableau suivant (Tableau 5).

Questions sur les 3 derniers mois	Indice de réponse				
Avez-vous limité la quantité ou le genre d'aliments que vous mangez en raison de problèmes avec vos dents ou vos appareils dentaires ?	(1) Toujours	(2) Souvent	(3) Parfois	(4) Rarement	(5) Jamais
Avez-vous eu des difficultés pour mordre ou mastiquer certains aliments durs tels que de la viande ou une pomme ?	(1) Toujours	(2) Souvent	(3) Parfois	(4) Rarement	(5) Jamais
Avez-vous pu avaler confortablement ?	(1) Toujours	(2) Souvent	(3) Parfois	(4) Rarement	(5) Jamais
Vos dents ou vos appareils dentaires vous ont-ils empêché(e) de parler comme vous le vouliez ?	(1) Toujours	(2) Souvent	(3) Parfois	(4) Rarement	(5) Jamais
Avez-vous pu manger de tout (sans ressentir une sensation d'inconfort) ?	(1) Toujours	(2) Souvent	(3) Parfois	(4) Rarement	(5) Jamais
Avez-vous limité vos contacts avec les gens à cause de l'état de vos dents ou de vos appareils dentaires ?	(1) Toujours	(2) Souvent	(3) Parfois	(4) Rarement	(5) Jamais
Avez-vous été satisfait(e) ou content(e) de l'aspect de vos dents, de vos gencives ou de vos appareils dentaires ?	(1) Toujours	(2) Souvent	(3) Parfois	(4) Rarement	(5) Jamais
Avez-vous pris un (des) médicament(s) pour soulager la douleur ou une sensation d'inconfort dans votre bouche ?	(1) Toujours	(2) Souvent	(3) Parfois	(4) Rarement	(5) Jamais
Vos problèmes de dent, de gencive ou d'appareil dentaire vous ont-ils inquiété(e) ou préoccupé(e) ?	(1) Toujours	(2) Souvent	(3) Parfois	(4) Rarement	(5) Jamais
Vous êtes-vous senti(e) gêné(e) ou mal à l'aise à cause de problèmes avec vos dents, vos gencives ou vos appareils dentaires ?	(1) Toujours	(2) Souvent	(3) Parfois	(4) Rarement	(5) Jamais

Avez-vous éprouvé de l'embarras pour manger devant les autres à cause de problèmes avec vos dents ou vos appareils dentaires ?	(1) Toujours	(2) Souvent	(3) Parfois	(4) Rarement	(5) Jamais
Vos dents ou vos gencives ont-elles été sensibles au froid, au chaud ou aux aliments sucrés ?	(1) Toujours	(2) Souvent	(3) Parfois	(4) Rarement	(5) Jamais

Tableau 5 : Questionnaire GOHAI permettant l'évaluation de la qualité de vie du patient en relation à sa santé bucco-dentaire (79).

## 2.3 Facteurs influençant le succès de la pulpotomie complète

La considération de la pulpotomie complète comme traitement définitif d'une dent permanente atteinte d'une exposition pulpaire par lésion carieuse repose sur des facteurs influençant son succès thérapeutique. A l'heure actuelle, l'implication de ces facteurs et leur influence dans le succès de la FP ne sont pas clairement définies. Une revue de la littérature conduite par H.F. Duncan et al. en 2023 a cherché à identifier les facteurs pré, per et postopératoires influençant le succès des VPT, afin d'aider les praticiens dans leurs prises de décision (68).

### 2.3.1 Facteurs préopératoires

#### - Age

De nombreuses études cliniques ont démontré que la pulpotomie associée à un biomatériau approprié permettait la guérison du tissu pulpaire résiduel, chez les adultes comme les enfants. Une revue systématique de la littérature conclut par Elmsmari et al. en 2019, a permis de conclure que l'âge n'était pas un facteur déterminant dans le succès de la pulpotomie partielle. En effet, il a été montré que des études cliniques menées sur

des patients de 6-52 ans avaient les mêmes résultats que celles menées sur des patients de 25-52 ans (63).

- Genre

De la même manière que l'âge, l'influence du genre a été étudiée dans une étude clinique menée par Taha & Khazali en 2017. Dans cette étude, il a été montré que le genre n'influence pas dans le succès clinique et radiographique d'une PP sur des dents montrant des signes de pulpite irréversible (65).

- État de santé générale

Dans de nombreuses études, la condition médicale générale des patients pris en compte est bonne. Les patients atteints de maladies chroniques ou d'affection longue durée ne sont pas inclus dans les études (68). Il y a cependant une étude de Kunert et al. en 2015 qui a permis de mettre en relation le succès de la pulpotomie et les atteintes physiopathologiques générales des patients. Il a été conclu que la condition des patients atteints d'hypertension, de cardiopathies, de diabète, d'hépatites ou du virus du SIDA n'était pas un facteur de risque notable dans le succès de la pulpotomie (81).

Actuellement, il n'est pas défini que le succès de la FP et la condition du patient ne sont pas corrélés, par manque d'études cliniques.

- Dent atteinte

Dans les études récentes, le type de dent atteinte a été peu mis en relation avec le taux de succès d'une pulpotomie. En effet, les études comprenant des incisives, des prémolaires et des molaires ne cherchaient pas à analyser l'impact de la dent avec le succès de la pulpotomie utilisée (68). Il a été noté que la PP serait plus facilement réalisable dans le cadre d'une VPT effectuée sur une dent monoradiculée, du fait de la difficulté à définir la fin de la chambre pulpaire (82).

Le résultat clinique de la PP ou de la FP en fonction du type de dent à traiter serait à mettre en lumière dans les études à venir.

- Développement radiculaire

Peu d'études comparatives sur le niveau d'apexification et le taux de réussite de la pulpotomie ont été mises en place. Cependant, la pulpotomie complète a montré sa capacité à avoir un taux de succès de 95 % dans le traitement de la dent mature atteinte de lésion carieuse profonde et présentant des symptômes de pulpite irréversible (62). Le niveau d'apexification était rarement étudié, bien qu'une étude de Kang et al. en 2017 rapporte aucune différences notables entre la réussite de la pulpotomie partielle et les différents degrés d'apexification (83).

La PP et la FP sont des thérapeutiques efficaces sur dents matures.

- Importance de la lésion carieuse

La profondeur de la lésion carieuse va avoir son importance dans le type de VPT à mettre en place et influence le taux de réussite de celle-ci. La profondeur de la lésion carieuse va être définie selon une étude préopératoire radiographique et va être catégorisée de façon profonde ou extrêmement profonde. Selon l'ESE en 2019, la carie profonde est radiologiquement mise en évidence par une lésion atteignant le ¼ profond de la dentine et laissant une épaisseur de dentine entre la pulpe et la dentine. La carie extrêmement profonde est mise en évidence radiologiquement par une lésion atteignant la pulpe et cliniquement par une exposition de la pulpe suite à l'excavation non sélective de la carie (13).

Une étude histologique menée par Demant et al. en 2021 a montré que la sévérité de l'atteinte inflammatoire de la pulpe était corrélée par la profondeur et localisée en regard de la lésion (36). L'étude clinique de Careddu & Duncan en 2021 a montré que la PP avait une réussite de 90 % dans des cas de caries profondes et de caries extrêmement profondes. Les seuls cas d'échecs de la PP dans cette étude ont été retrouvés dans le groupe de lésion extrêmement profonde (82).

La prise de décision sur le type de pulpotomie à mettre en œuvre va être influencée par la profondeur de l'atteinte carieuse. La lésion carieuse extrêmement profonde est plus en proie à entraîner une infection nécrotique pulpaire et donc à réduire la réussite de la PP (68).

- Type d'exposition pulpaire

Actuellement, il n'existe pas de comparaison directe entre la pulpotomie faite suite à une effraction pulpaire traumatique et celle faite suite à une exposition d'origine carieuse. Une revue de la littérature menée par Donnelly et al. en 2022 a étudié des cas cliniques de fractures coronaires soignés par pulpotomie (84). Cette étude laisse penser qu'il y a une réussite équivalente (75 – 96% à 1 an de suivi) des pulpotomies effectuées suite à une effraction traumatique comparé aux pulpotomies effectuées suite à une lésion carieuse (88% à 3 ans de suivi) (62).

Il n'existe pas assez de preuves actuelles pour définir le type d'exposition pulpaire comme un facteur influençant la réussite d'un traitement par pulpotomie (68).

- Diagnostic pulpaire et sévérité des symptômes

La sévérité des symptômes a longtemps été une façon de catégoriser l'atteinte inflammatoire pulpaire. La classification de la pulpite par l'AAE en 2019 sépare la pulpite de manière réversible ou irréversible en fonction des symptômes émis par le patient (8). Il a été mis en évidence que le caractère histologique de la pulpite n'était pas exactement en adéquation avec la définition symptomatique de la pulpite. Une pulpite définie cliniquement comme irréversible peut avoir histologiquement un potentiel de guérison (10). Une nouvelle classification a été mise en place par Wolter et al. en 2017 (4), séparant la pulpite en 4 catégories (initiale, bénigne, modérée, sévère). L'étude clinique menée par Careddu & Duncan en 2021 a utilisé cette classification et a permis de mettre en relation le succès de la PP et la sévérité de l'atteinte pulpaire. A 1 an de suivi post-opératoire, la PP a été réussie chez 100% des pulpites bénignes, 88% des pulpites modérées et seulement 60% des pulpites sévères (82).

L'atteinte inflammatoire pulpaire et son évaluation sur des signes cliniques et symptomatologiques jouent un rôle important dans le succès des pulpotomies. Les études cliniques futures devront rechercher le succès des FP sur des pulpites comprenant la classification actuelle.

- Radioclarté péri-apicale

L'atteinte inflammatoire du tissu périapical peut être définie suivant la radioclarité associée à la radiographie de la zone. La parodontite apicale aiguë (PAA) correspond à une atteinte inflammatoire du parodonte et est associée à des douleurs à la palpation/percussion et à une radiotransparence du périapex (8). Bien que la PAA soit souvent associée à une nécrose pulpaire, une certaine portion de la pulpe radiculaire peut rester vivante (85,86).

L'étude prospective de Taha et Abdelkhalder de 2018 a mis en évidence qu'une cicatrisation de dents matures permanentes présentant des symptômes de pulpites irréversibles et une radioclarité apicale était possible. En effet, 7/8 cas ont eu une amélioration radiographique du PAI suite à un traitement par FP (65). Une autre étude clinique randomisée de 2022 par Baranwal et al. a trouvé que la présence d'une déminéralisation apicale préopératoire, lors du traitement de dents présentant des signes de pulpite irréversible, n'influeait pas dans le succès de la VPT. En effet, les dents traitées par Biodentine® lors d'une FP ou d'une PP ont montré une guérison radiographique du périapex via une radiographie post opératoire par CBCT à 12 mois et une réduction significative de sensibilité à la percussion (87).

En 2022, la revue de la littérature de Skitioui et al. a cherché à comparer la réussite de la FP et du NSRCT sur des dents matures atteintes de pulpite irréversible. Il a été montré une différence significative du résultat de la FP en fonction de l'état inflammatoire périapical préopératoire. Lorsqu'une atteinte péri-apicale a été mise en évidence par un test de percussion ou par épaissement du ligament parodontale visible à la radiographie, le taux de succès de la FP par Biodentine® est diminué de 10 % alors que, dans les mêmes conditions, celui du NSRCT est diminué de 25 % (88).

Cette différence de résultats pourrait être justifiée par la difficulté d'évaluer l'état périapical uniquement grâce à la radiographie rétro-alvéolaire conventionnelle. Une étude clinique réalisée par Abella et al. en 2012 a comparé les résultats d'imagerie rétro-alvéolaire (RA) et par tomographie à faisceau conique (CBCT) de dents présentant des symptômes de pulpite irréversible. La présence d'une lésion péri-apicale a été détectée dans 3,3% des cas avec une radiographie RA et dans 13,7% des cas avec un CBCT (89).

Il est suggéré que la pulpotomie est un traitement possible en cas de pulpite irréversible présentant une lésion péri-apicale, lorsque le tissu pulpaire reste en partie

vital. Il est cependant peu clarifié comment la procédure peut être reproductible et quels peuvent être les facteurs d'exclusion de cette thérapeutique (68).

### 2.3.2 Facteurs peropératoires

#### - Type de VPT

Les recommandations actuelles de l'ESE sont basées sur des études cliniques et des revues littéraires qui ont permis de mettre en évidence que la PP ou la FP avait des taux de réussite équivalents au NSRCT, lors d'un diagnostic de pulpite irréversible (51). La FP aurait un taux de réussite plus élevé que la PP sans différence notable dans les cas de pulpites irréversibles (61,62,87).

#### - Isolation de la dent

L'isolation de la dent et le contrôle de l'asepsie durant l'acte de pulpotomie est une recommandation évidente permettant le bon déroulé de la VPT (13). Une étude clinique de Queidmat et al. en 2007 a analysé 51 cas de PP et le taux de réussite en fonction de leurs matériaux de coiffage. Il a été montré que sur les 51 cas, 23 d'entre eux n'ont pas pu être isolés par une digue en caoutchouc. Sur l'entièreté de l'étude, les 4 cas résultant un échec clinique et radiologique n'ont pas pu être mis sous isolation efficace lors du traitement (90).

Il est cependant difficile d'établir ce protocole dans la pratique de tous les jours au cabinet. Une étude menée par Gemmel et al. en 2020 a interrogé des dentistes travaillant en Angleterre sur le traitement de la pulpite irréversible au cabinet et leur utilisation d'une digue en caoutchouc lors des étapes du traitement. L'étude a montré une utilisation systématique de la digue lors de l'obturation et la désinfection dans seulement 12% des cas. 57 % des dentistes interrogés ne l'utilisent pas systématiquement, 18 % ne l'utilisent jamais pour la désinfection et 19 % pour l'obturation (91).

- Utilisation de grossissement

Lors des VPT, l'utilisation d'appareils de grossissements est recommandée afin d'enlever correctement la dentine infectée et d'évaluer l'état de la dentine résiduelle lors d'un coiffage pulpaire indirect. Elle permet également d'apprécier l'état de la pulpe lors d'un coiffage pulpaire direct ou une pulpotomie partielle, afin de pouvoir laisser un tissu pulpaire apte à la cicatrisation (43). Sans ces outils de grossissement, ces évaluations peuvent s'avérer difficiles lors d'un état pulpaire inflammatoire irréversible et il serait alors recommandé par l'ESE de procéder à une pulpotomie totale dans ces cas-là (13).

- Hémorragie pulpaire

L'hémorragie pulpaire et le temps de l'hémostase ont traditionnellement été utilisés pour indiquer l'étendue de l'inflammation. La présence d'une zone nécrotique n'indique pas forcément la nécrose pulpaire et l'impossibilité de réaliser une pulpotomie (92). Il a cependant été suggéré que l'absence de saignement ou un saignement incontrôlé de plus de 10 minutes contre-indiquait la pulpotomie (13). Dans des cas de pulpites irréversibles, il a été noté que l'hémostase pulpaire pouvait être contrôlée sous les 6 minutes (65,93). Dans l'étude clinique de Careddu & Duncan de 2021, le taux de réussite d'une PP après exposition carieuse et le temps d'hémostase n'a pas montré de corrélation suffisante (82).

- Solution de rinçage

Les solutions de désinfection de la pulpe camérale (PP) ou Radiculaire (FP) peuvent être une solution saline, de l'hypochlorite de sodium (NaOCl) ou de la Chlorhexidine. L'ESE recommande une désinfection avec une solution à 2,5 % de NaOCl lors d'une pulpotomie faisant suite à une exposition carieuse (13). Une revue de la littérature de Munir et al. en 2020 a établi que sur 27 études, les taux de réussite des pulpotomies utilisant du NaOCl (n=14) et une solution saline (n=10) étaient similaires (94). Cependant, une étude menée par Ballal et al. en 2022 s'intéressant à la solution de rinçage utilisé lors de coiffage pulpaire sur des dents présentant une pulpite réversible a comparé le taux de réussite d'un rinçage au NaOCl (89%) avec un rinçage à la solution saline (55%) à 1 an (95). Cette étude a été poursuivie sur 4 ans par Ballal et al. pour comprendre l'impact au long court de la solution de rinçage sur la survie de la dent. Une

estimation de Kaplan-Meier sur le taux de survie de la pulpe à 4 ans a montré un taux de réussite de 7% suite à une désinfection par une solution saline, contrairement à 55% suite à une désinfection par une solution à 2,5 % de NaOCl (96).

Il semblerait que la solution de désinfection pulpaire à utiliser lors d'une VPT serait une solution à 2,5% d'hypochlorite de sodium.

#### - Biomatériau utilisé

La sélection du matériau de coiffage pulpaire joue un rôle crucial dans la préservation de la pulpe vitale. Historiquement le Dr Phillip Pfaff a réalisé la première thérapie de vitalité pulpaire en 1756 en recouvrant une effraction pulpaire par de l'or (97). Les propriétés du biomatériau idéal d'apposition pulpaire ont été énoncées pour la première fois par Cohen & Combes en 1994 (98). Il doit :

- Stimuler la dentinogénèse réparatrice
- Maintenir la vitalité pulpaire
- Libérer du fluor pour prévenir les caries secondaires
- Être un agent bactéricide ou bactériostatique
- Adhérer à la dentine et au matériau de restauration coronaire
- Résister aux forces exercées sur la restauration pendant toute sa durée de vie
- Être stérile
- Être le plus radio-opaque

Traditionnellement, l'hydroxyde de calcium (CH) était utilisé comme le traitement de choix mais a été remplacé sur les 15 dernières années par des ciments hydrauliques au silicate de calcium (HCSC) dont l'agrégat de trioxyde minérale (MTA), ainsi que des biocéramiques.

En effet, une étude clinique randomisée orchestrée par Kundzina et al. en 2017 avait comme objectif de comparer l'efficacité du MTA et du CH lors des thérapies de coiffages pulpaire sur des dents atteintes d'une exposition pulpaire carieuse. Elle a su démontrer l'efficacité du MTA (85 %) comparé au CH (52 %) sur un suivi à 36 mois (99).

Le MTA permet de par sa biocompatibilité supérieure et d'une meilleure étanchéité la formation d'un pont dentinaire de meilleure qualité. Il a cependant certains défauts tels qu'un coût élevé, un temps de prise lent et un potentiel élevé de coloration dentaire par l'oxyde de bismuth présent dans celui-ci (100).

Pour pallier aux irrégularités du MTA, il a été développé de nouveaux matériaux à base de silicate de calcium, tels que Biodentine® et TotalFILL®, ou des ciments enrichis en calcium (Calcium Enriched Mixture = CEM). La Biodentine® possède une biocompatibilité élevée pour les cellules de la pulpe dentaire ainsi que des effets antibactériens et antifongiques importants. Elle présente une élasticité et une résistance à la compression plus élevées que le MTA, mais surtout un temps de prise beaucoup plus court. Cela permet donc au praticien la possibilité de faire la restauration définitive le jour même.

Une étude clinique randomisée à double inconnue menée par Taha et al. en 2022 a cherché à évaluer les résultats cliniques et radiographiques de la pulpotomie complète (FP) en utilisant Biodentine®, TotalFILL® (biocéramique) et ProRoot ®(MTA). Il est montré à 1 an de suivi que les taux de succès de Biodentine® (93,3%), de TotalFILL®(91,6%) et de MTA (91,8%) sur les FP n'étaient pas significativement différents (101).

Une revue de la littérature et une méta-analyse des études cliniques a été effectuée en 2023 par Silva et al. afin d'évaluer l'efficacité des matériaux de coiffage lors de pulpotomies suivies sur 1 an. La présente revue a permis de déduire qu'autant la FP que la PP étaient efficaces lors de pulpites réversibles ou irréversibles (90%), que le MTA avait un taux de succès élevé par rapport au CH et qu'il n'y avait pas de différences significatives entre le MTA, les CEM ou la Biodentine® (102). Les taux de succès des pulpotomies ont été évalués radiographiquement et à partir de tests de sensibilité pulpaire au froid, qui peuvent être négatifs durant la première année de suivi (66).

Malgré les avancées techniques en termes de biomatériaux, une étude menée par Edwards et al. en 2021 a montré une utilisation encore importante du CH (66%) par rapport aux HCSC. Cette étude a été conduite grâce à des questionnaires renseignés par des dentistes situés en Angleterre, leurs demandant leurs attitudes et leurs pratiques sur

des dents présentant une exposition pulpaire par une atteinte carieuse ainsi que des symptômes de pulpites irréversible (103).

- Restauration finale

Le type de restauration finale, sa qualité et son temps opératoire sont des facteurs qui vont influencer la réussite du traitement de maintien de la vitalité. En effet, la pulpe a montré sa capacité réparatrice si l'agression bactérienne est éliminée et que la dent est restaurée par une restauration étanche (104). Le choix de la restauration définitive sera évalué par l'imagerie, par la réponse aux signes cliniques, par la fonction de la dent sur l'arcade, mais également par la substance coronaire restante suite à l'éviction carieuse.

La pulpotomie partielle ou complète est considérée par l'ESE comme un traitement efficace de la pulpite irréversible lorsque la restauration permanente est mise en place sur le matériau de coiffage dans la même séance (13). En effet, la mise en place d'une restauration définitive dans les 2 jours postopératoires lors d'un coiffage pulpaire a montré les meilleurs résultats à 5 et 10 ans (105). Malgré cela, 2 études cliniques présentes dans la revue de la littérature d'Elmsmari et al. en 2019 n'ont montré aucune différence de succès de la PP lors d'un scellement avec une restauration temporaire. Les cas de restauration provisoire ont été restaurés par ciment d'oxyde de zinc-eugénol (ZOE), puis par des restaurations définitives lors des visites de 3 à 6 mois (63). Cependant le ZOE n'est pas considéré comme un matériau de restauration provisoire étanche, avec une étanchéité marginale moins performante que le Cavit-G® (106).

Une étude prospective menée par Tan et al. en 2020 a montré que sur des dents asymptomatiques traitées par pulpotomie (FP ou PP), le taux de succès à long terme de la VPT était influencé par la qualité et la durée de vie de la restauration coronaire définitive.

Une analyse des données de la littérature menée par Alqaderi et al. en 2016 a mis en évidence que la restauration par composite ou par amalgame n'impactent pas le taux de réussite du traitement, à 1 an et 2 ans de suivi. En effet, cette revue a étudié l'influence du type de restauration coronaire sur des dents permanentes matures postérieures traitées par FP (107).

Il n'y a actuellement que peu d'évidences cliniques permettant d'établir un gold standard sur le type de restauration définitive à effectuer et son temps opératoire lors d'une pulpotomie. L'intégrité de la restauration doit être vérifiée régulièrement par le praticien lors du suivi à long et court terme, afin d'assurer la vitalité de la dent et sa survie sur l'arcade dentaire (68).

### 2.3.3 Facteurs postopératoires

#### - Formation d'un pont dentinaire

La formation d'un pont dentinaire est considérée comme une conséquence positive de la pulpotomie sur dents permanentes matures (82). La détection de cette formation de tissu dur n'est pas évidente lorsque le matériau de coiffage pulpaire présente une radio-opacité similaire (Biodentine®). L'étude de Taha et al. en 2022 a montré que sur 146 études sur 1 an, la détection radiographique d'un pont dentinaire était possible dans seulement 8 études. Il est donc difficile de s'assurer de la formation du pont dentinaire, mais il demeure une valeur de positivité dans le traitement par VPT car c'est l'indicateur de cellules vitales persistantes et d'une inflammation pulpaire contrôlée permettant la réparation (96).

La visualisation d'un pont dentinaire n'est actuellement pas un facteur assez prédictible pour qu'il soit un facteur de succès de la VPT. Les outils technologiques permettant une meilleure détection du pont dentinaire pourrait être une perspective d'avenir afin de faciliter le pronostic des VPT par le praticien. En effet, l'utilisation d'une Intelligence Artificielle (IA) par Machine Learning a déjà montré son intérêt dans la pratique dentaire (42). L'IA offre des outils d'aide au diagnostic et au pronostic de certaines thérapeutiques, tels que l'aide à la détection de fractures dentaires depuis des radiographies panoramiques (108) ou l'aide au diagnostic de lésions carieuses depuis des radiographies bitewing (109). Ces nouvelles technologies vont constituer des outils importants pour le praticien dans la prise de décision.

L'utilisation d'outils technologiques utilisant le Machine Learning pourrait aider le praticien à la détection d'un pont dentinaire et pourrait conforter la réussite du traitement, car la visualisation d'un pont dentinaire est considérée comme un déterminant de réussite des VPT (68).

- Intervalle temporel de mise en place de la restauration définitive

La recommandation générale de l'ESE sur la mise en place de la restauration définitive lors d'une pulpotomie est qu'elle doit être mise en place lors d'une séance unique du traitement (13). En effet, la restauration définitive immédiate limite le risque d'infiltration bactérienne de la pulpe grâce à l'étanchéité de la restauration coronaire. Il y a cependant des limites à la restauration immédiate, notamment par un temps opératoire souvent long des ciments hydrauliques à base de silicate de calcium.

L'étude de Banava et al. menée en 2015 n'a cependant pas trouvé de différences significatives dans les résultats cliniques et histologiques de coiffage direct avec une restauration en une ou deux séances. Lorsque les VPT sont réalisées en 2 séances à l'aide du MTA, l'étude a suivi comme protocole l'application d'une boulette de coton humide stérile et d'un matériau d'obturation provisoire sans eugénol, suivie d'une restauration définitive lors d'une deuxième instrumentation à 24h postopératoire (110).

L'étude de Taha et al. de 2022 a choisi de réaliser les restaurations définitives dans la même séance que la FP. Il a été choisi de couvrir le MTA par une fine couche de fond de cavité en résine de ciment verre-ionomère (Vitrebond® 3M) suivi de la restauration composite coronaire. Il a été choisi de réaliser la restauration en 2 couches car le fond de cavité offre une meilleure liaison au composite que le MTA, une meilleure résistance à la contraction du composite et permet au MTA de mieux résister à la compression coronaire (101).

Les ciments à base de silicate de calcium de type Biodentine® ont comme caractéristiques indiquées par le constructeur un temps de durcissement court de 12 minutes. Cela a été testé dans une étude prospective de Carreddu & Duncan en 2021 mettant en lumière un temps de durcissement moyen de 22 minutes, avec un cas allant jusqu'à 45 minutes (82). Cela expliquerait pourquoi les études cliniques n'ont pas le

même protocole concernant le temps opératoire pour la mise en place de la restauration définitive.

En effet, Taha et Abdelkhalder ont rapporté en 2018 avoir réalisé des restaurations permanentes composites 2 semaines après la mise en place de Biodentine® comme matériau de coiffage de FP sur des dents présentant des symptômes de pulpite irréversible. Du ciment à base d'oxyde de zinc-eugéol (ZOE) a été utilisé comme restauration coronaire temporaire, malgré son incapacité à être étanche (106). Le délai de 2 semaines à la mise en place de la restauration définitive sur la Biodentine® est expliqué par une étude menée par Hashem et al. en 2014 cherchant à évaluer les forces d'adhérences entre la Biodentine® et la résine composite (Septodont N'Durence®). En effet, il a été montré que l'adhérence de la Biodentine® était plus importante lorsque le matériau a subi un délai de 2 semaines dans de l'eau stérile avant le collage au composite. Cela permettrait une maturation physico-chimique du produit permettant une meilleure résistance aux forces de contraction de la résine composite. Le protocole de collage n'influe pas sur l'adhérence entre les deux matériaux (111).

Une force d'adhérence stable dans le temps existe entre les ciments verre-ionomères (GC Fuji IX®) et la résine composite. Une autre étude, menée par Bolhari et al. en 2021 a cherché à mettre en évidence les changements physico-chimiques des matériaux de coiffage pulpaire lorsqu'ils sont recouverts de différents matériaux de restauration. Il est montré que l'application directe de ciment verre-ionomère dans la même séance serait la moins délétère pour l'évolution de l'interface entre les deux matériaux. Il est aussi montré que la Biodentine® serait la plus résistante lors de mise en place de matériaux de restauration en 1 seule séance. La mise en place de ciment verre-ionomère sous-jacent à la restauration coronaire composite permettrait une restauration définitive en 1 séance (112).

La revue de la littérature de M. Zanini en 2019 a rapporté que la durée de mise en place de la restauration définitive était un facteur influençant le succès de la pulpotomie. Une restauration définitive mise en place en post-opératoire serait un facteur défavorable au maintien de la vitalité pulpaire. Par ailleurs, les restaurations prothétiques et les amalgames présentent les taux de succès les plus élevés de la pulpotomie. Les amalgames, malgré leurs longévités, présentent des problèmes environnementaux et de libération de

métaux lourds lors de la réinstrumentation. Il serait donc recommandé de réaliser une restauration prothétique fixe indirecte par scellement (couronne, bridge) ou par collage (Inlay/Onlay), ou une restauration direct composite par collage (73).

- Condition parodontale

La santé parodontale est une constante importante dans la suivie des traitements dentaires. En effet, les raisons d'extractions d'une dent traitée par traitement endodontique sont d'abord prothétiques à 59%, puis parodontales à 32% et endodontiques à 9 % (113). Dans les études présentes dans la littérature scientifique, la maladie parodontale représente un facteur d'exclusion et n'est donc pas mise en relation avec le taux de succès de la pulpotomie.

- Suivi & douleurs post-opératoires

Le suivi postopératoire correspond à un facteur influençant grandement le succès de la pulpotomie. En effet, c'est grâce au suivi que l'on peut définir les échecs prématurés (0 - 3 mois post op) et les échecs tardifs (plus de 6 mois post op) de la pulpotomie. L'ESE considère que les VPT en général doivent être suivies par un contrôle clinique à 6 mois et radiographique à 12 mois post-opératoire, puis par un contrôle chaque année pendant 4 ans (13). En effet, l'étude d'Ørstavik D. en 1996 a montré que des signes de guérison d'une lésion périapicale étaient visibles après 1 an dans 88% des cas. La guérison complète est obtenue dans 51% des cas (114). L'intérêt d'une analyse radiographique à 1 an de suivi est aussi d'évaluer une éventuelle résorption radiculaire (82). En effet, bien qu'un suivi à 6 mois ait été considéré par plusieurs études comme suffisant, le guide de pratiques endodontiques de l'ESE en 2023 définit les études comme valables lors d'un suivi minimal d'un an (43).

Du point de vue du patient, le contrôle de la douleur est une question importante et la douleur postopératoires doit être considérée comme un facteur déterminant dans la réussite de la pulpotomie. En effet, le succès à court terme de la FP peut être reflété par la diminution ou l'absence de douleurs postopératoires ressenties par le patient. Lors du traitement de la pulpite irréversible, la FP a été rapportée comme un traitement de choix concernant le contrôle de la douleur par Ramani et al. en 2022 (61).

Une méta-analyse de la littérature menée par Tomson et al. en 2023 sur la douleur postopératoire n'a trouvé aucune différence significative dans le traitement de celle-ci, entre la pulpotomie et le NSRCT (115). L'intensité de la douleur a été évaluée avant l'opération, directement après l'opération et suivant les 7 jours de suivi post-opératoires. L'utilisation d'antalgique dans les 24h précédents l'opération est conseillée (116).

## 2.4 Élaboration d'un protocole clinique à mettre en place

La procédure de la pulpotomie complète lors du traitement de l'exposition pulpaire sur des dents postérieures présentant des douleurs préopératoires spontanées peut être définie dans un protocole clinique précis. La procédure se doit d'être facilement applicable dans une prise en charge en urgence.

- Anesthésie avec une injection locale d'anesthésiant à base de Lidocaïne 2% 1/100 000 ou d'Articaïne 4% 1/100 000
- Mise en place d'un champ opératoire (digue en caoutchouc) par multi clampage sur la dent à traiter et les dents adjacentes, à l'aide de bagues métalliques adaptées ainsi qu'à des fils de caoutchouc occupant l'espace interdentaire.
- Désinfection de la couronne dentaire à l'aide d'une solution d'Hypochlorite de sodium (NaOCl) diluée à 2,5% ou 5% à l'aide d'une boulette en coton stérile.
- Élimination non sélective du tissu dentaire infecté à l'aide d'une fraise boule tungstène stérile montée sur un contre-angle bague bleue. L'élimination se fait sous irrigation et aspiration constante
- Élimination du tissu pulpaire coronaire à l'aide d'une fraise boule diamantée stérile et d'une fraise Endo Z montée sur un contre-angle bague rouge ou une turbine sous irrigation et aspiration constante, jusqu'aux orifices canaux.
- Obtention de l'hémostase à l'aide d'une boulette de coton stérile imbibée d'une solution de NaOCl 2,5% placée contre les orifices canaux. L'hémostase ne doit pas

excéder 10 minutes, sinon la pulpotomie complète n'est plus indiquée et la pulpectomie devient le traitement de choix.

- Application du matériau de coiffage sur une épaisseur de 2 – 3 mm sur la pulpe radiculaire, compacté doucement à l'aide d'un compacteur ou d'une boulette de coton stérile.
- Vérification du durcissement du matériau de coiffage grâce à une sonde, en respectant le temps de prise du matériau recommandé par le fabricant.
- Application d'un matériau intermédiaire provisoire en contact du biomatériau de coiffage tel que le ciment verre-ionomère en technique direct
- Application de la restauration définitive en 1 étape avec une restauration coronaire composite par technique directe
- Radiographie post-opératoire
- Mise en place d'un suivi à 7 jours post-opératoire du contrôle de la douleur
- Mise en place d'un suivi clinique et radiographique à 6 mois et 12 mois, puis tous les ans pendant 4 ans.

### 3 Le traitement de la pulpite irréversible : un protocole d'étude clinique

La pulpotomie complète (FP) a montré sa capacité à avoir un taux de succès de 95 % dans le traitement de la dent mature atteinte de lésion carieuse profonde et présentant des symptômes de pulpite irréversible (62). Une étude clinique randomisée a

montré qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les taux de succès d'une pulpotomie complète (85%) et d'une pulpectomie (87,5%) (51).

Comme vu précédemment, la réussite de la FP permet de la définir comme une alternative à la pulpectomie. Il faut cependant qu'elle soit réalisable d'un point de vue technique et thérapeutique dans le suivi et la prise en charge des patients dans un service d'urgence dentaire.

Ce protocole d'étude vise à mettre en place la FP dans la prise en charge d'urgence des patients atteints d'une lésion carieuse extrêmement profonde et présentant des symptômes de pulpite irréversible.

Elle vise à l'évaluation du taux de succès de la thérapie, ainsi que la prise d'information concernant les facteurs influençant le succès de la FP. L'étude clinique du protocole suivant sera non-interventionnelle et à visée de récolte d'information permettant l'amélioration des critères de succès des thérapies futures.

### 3.1 Descriptif de l'étude

L'étude vise à traiter la pulpite irréversible par une thérapie de maintien de la vitalité pulpaire sous forme de pulpotomie complète (FP). Après une anamnèse approfondie et un examen clinique et radiologique confirmant l'éligibilité à l'étude, le patient se verra expliquer la procédure en permettant sa compréhension sur les avantages et les inconvénients associés. Il se verra fournir une note d'information ainsi qu'un document de non-opposition, lui permettant de s'inscrire comme participant.

Le participant se verra remettre un questionnaire d'évaluation de la douleur et de sa qualité de vie en fonction de sa santé bucco-dentaire (GOHAI) (Tableau 4).

Le diagnostic référentiel d'une dent présentant des symptômes de pulpite irréversible se fera sur la base d'un historique de la douleur dentaire spontanée du patient, ainsi que l'exacerbation de celle-ci durant plusieurs secondes à plusieurs minutes par un stimulus froid. La douleur exacerbée sera reproduite par un test de sensibilité pulpaire comparatif sur la dent causale et sur la dent témoin controlatérale cliniquement saine.

Le diagnostic différentiel selon la classification de Wolters et al. de 2017 se fera de la même manière que le diagnostic référentiel (4). Il sera décrété la sévérité de l'atteinte pulpaire selon le tableau 1.

La lésion extrêmement profonde sera alors évaluée grâce à une radiographie rétro-alvéolaire témoignant d'une exposition pulpaire par la lésion carieuse, allant jusqu'au  $\frac{1}{4}$  dentinaire interne et ne laissant pas de tissu dentinaire juxtapulpaire.

Une évaluation de l'indice radiographique du péri-apex se fera suite à la radiographie rétro-alvéolaire, utilisant des portes-capturs Dentsply®.

La FP se fera sous asepsie stricte en suivant le protocole clinique établi dans cette revue. L'éviction du tissu dentaire infecté sera complète et non sélective. L'hémostase se fera selon les recommandations actuelles et le temps de celle-ci sera mesurée afin de confirmer le traitement par FP. La mise en place du biomatériau de coiffage au niveau des orifices radiculaires se fera en respectant le temps de prise du fabricant. Il sera accompagné d'un matériau de restauration provisoire à base de ciment verre-ionomère non iatrogène, effectué au cours du même rendez-vous. Le temps total de la prise en charge sera mesuré et évalué par rapport au taux de succès de la FP.

L'analyse de la douleur post-opératoire et de l'indice GOHAI se fera 7 jours à postériori de l'opération à l'aide du même questionnaire effectué lors du premier rendez-vous. La restauration définitive sera une restauration composite en technique directe.

Le suivi du patient se fera alors de façon clinique et radiologique lors du 6<sup>ème</sup> mois et du 12<sup>ème</sup> mois post-opératoire, puis tous les ans pendant 3 ans.

L'étude vise à définir la FP comme traitement de routine lors d'une visite d'urgence de patients atteints d'une lésion carieuse profonde et présentant des symptômes de pulpite irréversible, dans un centre de soin dentaire d'urgence en France.

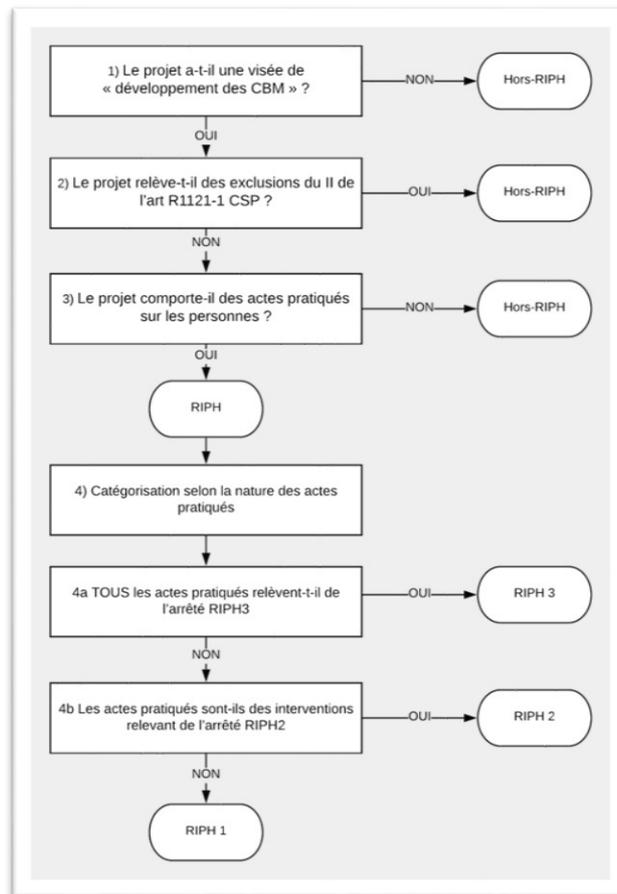
## 3.2 Définition de l'étude

Le plan de l'étude permet d'expliquer comment elle est conçue et ce qu'elle va mesurer. Cette présente étude clinique a comme objectif le traitement de la pulpite irréversible sur des dents matures permanentes par une pulpotomie complète (FP) effectuée en clinique d'urgence.

En France, les recherches organisées et pratiquées sur l'être humain en vue du développement des connaissances biologiques ou médicales sont définies sous l'article L. 1121-1 du code de la santé publique (CSP) (117). Ces études sont désignées sous la dénomination « Recherche Impliquant la Personne Humaine » (RIPH) et il en existe 3 catégories :

- RIPH 1 dites interventionnelles. Elles comportent une intervention sur la personne non justifiée par sa prise en charge habituelle
- RIPH 2 dites interventionnelles ne comportant que des risques et des contraintes minimales. Elles se définissent par des actes sans effets néfastes trop importants et sont définies par les arrêtés du ministère de la santé et du directeur général de l'ANSM
- RIPH 3 dites non interventionnelles. Elles ne comportent aucun risque ni contrainte car les actes et les produits sont utilisés dans une pratique habituelle.

Le guide de qualification des recherches en santé promulgué par l'INSERM nous aide à mieux comprendre les caractéristiques que remplissent notre étude et sa définition dans le prisme des études cliniques françaises (118,119).



*Illustration 14 : Logigramme de la procédure de qualification de l'étude par l'INSERM (118)*

Le traitement de la pulpite irréversible par la FP a été décrit dans la partie précédente comme étant un traitement standard. L'acte de la FP en traitement d'urgence ne constitue pas une « intervention » vis-à-vis de la loi (118).

Selon l'arrêté du 12 avril 2018 fixant la liste des recherches mentionnées au 3° de l'article L. 1121-1 du code de la santé publique, la présente étude peut prendre l'appellation RIPH 3 si elle comporte un ou plusieurs actes ou procédures non habituellement présents dans le traitement (120) :

- i. Recueil supplémentaire et minimales d'éléments ou de produits du corps humain effectué à l'occasion d'un prélèvement dans le cadre du soin
- ii. Recueil d'éléments de produit du corps humain qui ne présentent pas de caractères invasifs et qui ne sont pas habituellement prélevés dans la pratique quotidienne
- iii. Écouvillonnage superficiel de la peau ou de la cavité orale
- iv. Recueil par des capteurs extracorporels non invasifs
- v. Enregistrements audio, vidéo et photographique hors imagerie médicales
- vi. Recueil de données électrophysiologiques sur matériel implanté ou en cours d'implantation pour le soin
- vii. Mesure anthropométrique sans intervention invasive
- viii. Entretiens, observation, tests et questionnaires ne pouvant pas mettre en jeu la sécurité de la personne et conduire à la modification de sa prise en charge habituelle.

L'étude va comporter le passage d'un questionnaire correspondant à l'acte viii. de la précédente liste et va donc bénéficier de l'annotation RIPH 3.

Pour les recherches dans le domaine de la santé, le CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés) va dès 2006 mettre en place des méthodologies de références (MR) concernant les RIPH. La délibération n°2018-155 du 3 mai 2018 va permettre de définir les RIPH 3 comme des recherches non-interventionnelles ne nécessitant pas le consentement du patient et vont être soumises aux MR-003 référées par le CNIL (121).

Selon le code de la santé publique, la RIPH 3 doit se soumettre à plusieurs critères pour être acceptée :

- Nécessité de désigner un promoteur de la recherche clinique
- Enregistrement de la recherche par son numéro ID-RCB fournis par l'ANSM
- Évaluation préalable du caractère éthique de l'étude par un comité de protection des personnes (CPP) (obligation légale)
- Autorisation par l'avis favorable du CPP
- Résumé et copie de l'avis à l'ANSM — Procédure simplifiée, loi ASAP (2020) modifiant l'art L 1123-7 CSP

- Non-opposition du patient, pouvant être sous la forme d'un consentement écrit
- Conformité au MR-003 du CNIL
- Pas d'obligation d'assurance spécifique du patient, seulement la responsabilité civile du patient doit être obligatoire

Cette étude est dite monocentrique, ce qui veut dire qu'elle sera orchestrée dans un seul centre clinique. Ce centre clinique sera le service de soins dentaires et d'odontologie hospitalière, situé au pavillon A du Centre Hospitalo-Universitaire (CHU) Édouard Herriot, au 5 Place d'Arsonval, 69003 Lyon.

L'étude se présente comme une étude à cohorte à un seul bras. Une cohorte est une population de sujets qui répondent à des critères d'inclusion et qui sont suivis pendant un temps donné. Une étude de cohorte à un seul bras consiste à comparer la survenue d'un événement dans une population en fonction de leur exposition à un facteur supposé causal à cet événement. Elle peut étudier la survenue d'une maladie dans une population exposée à un facteur de risque lors d'une étude épidémiologique, mais peut aussi étudier la réussite d'un traitement supposé d'une maladie dans une étude clinique.

Les cohortes peuvent se distinguer en deux types, rétrospectives et prospectives. Les études rétrospectives sont définies dans le passé avec une date de suivi débutant à un temps donné, et se terminant à la date du recueil d'information. Elles permettent de comparer la survenue d'un événement dans une population passée en la comparant souvent avec la population générale actuelle. Les études prospectives sont par opposition des études avec une date de suivi débutant à la date de mise en place de l'étude. Elles permettent la récolte d'information en vue d'améliorer la connaissance et la compréhension d'une maladie ou d'un traitement. Elles sont souvent à but de recueil de données, avant, durant et à la fin de l'étude, grâce notamment à des questionnaires, des tests fonctionnels, des indicateurs biologiques, etc. (122).

L'étude clinique que nous allons mener se définit donc comme une étude clinique quantitative prospective longitudinale de cohorte à un seul bras de type RIPH 3.

On peut alors détailler l'étude sur un tableau récapitulatif :

Type de l'étude	Recherche impliquant la personne humaine non interventionnelle – RIPH 3
Architecture de l'étude	Étude prospective de cohorte à un seul bras
Objectif primaire	Traitement
Condition	Pulpite irréversible symptomatique avec une lésion carieuse extrêmement profonde
Intervention	Procédure : Pulpotomie complète
Bras de l'étude	Expérimentation : Pulpotomie complète

*Tableau 6 : Détails de l'étude*

### 3.3 Critères de succès de la thérapeutique et calendrier de l'étude

Les critères de validation de la FP vont être définis selon les recommandations générales de validation d'une VPT proposé par l'ESE. Le succès de la pulpotomie complète sera évalué à 7 jours, à 3 mois, à 6 mois, à 12 mois et pendant 3 ans à raison d'un examen annuel. Le succès de la pulpotomie complète doit être mesuré selon des critères de succès bien définis, avec un temps opératoire à respecter pour chacun d'eux (13,43,68)

Le succès clinique de la FP est l'absence de douleurs spontanées, provoquées à la percussion et à la palpation, ainsi que l'absence de besoin de réintervention par un traitement canalair. Le succès est défini par l'absence de mobilité dentaire, ou de gonflement, d'abcès ou de fistulisation en regard de la dent traitée (70).

Le succès radiographique de la FP est défini par l'absence de radio transparence péri apicale, d'un épaissement ligamentaire ou d'une diminution de la radio transparence de la lésion péri-apicale déjà existante (70). Le succès est défini par la continuité de la formation radiculaire des dents immatures, mais également de l'absence d'une résorption interne radiculaire. L'oblitération radiculaire n'est pas considérée comme un échec par l'ESE en 2019, car nous manquerons des données concernant sa prévalence. La réponse positive aux tests de vitalité pulpaire ne peut pas être considérée comme un critère de succès du fait de l'éviction de la totalité du tissu coronaire pulpaire vivant (13,46).

Les critères de succès de l'étude ainsi que le calendrier en découlant vont être résumés dans le tableau suivant (Tableau 7).

	Type de succès	Évaluation	Temps du suivi
<b>Critères de succès capitaux</b>	Absence de douleur spontanée et provoquée Absence de sensibilité à la palpation et à la percussion Absence de tuméfaction Absence de médication analgésique	Anamnèse du patient Historique de la douleur par EVA Examen clinique	7 jours, 3 mois
	Survie de la dent	Examen clinique et radiologique	1 an, tous les ans pendant 3 ans
	Absence d'émergence d'une lésion péri-apicale	Examen radiologique rétro-alvéolaire Comparaison PAI pré- et postopératoire	1 an, tous les ans pendant 3 ans

<b>Critères de succès importants</b>	Fonction dentaire présente Restauration définitive présente dans son intégralité Absence de fracture Absence d'allergie	Examen clinique Anamnèse du patient	1 an, tous les ans pendant 3 ans
	Absence d'un besoin de réintervention	Examen clinique Anamnèse du patient	1 an, tous les ans pendant 3 ans
	Absence d'ostium fistulaire ou d'abcès apicale	Examen clinique	1 an, tous les ans pendant 3 ans
	Amélioration de l'Indice de la qualité de vie en fonction de la santé bucco-dentaire	Questionnaire GOHAI	6 mois, 1 an, tous les ans pendant 3 ans

*Tableau 7 : Les critères de succès de l'étude et le calendrier de suivi du patient durant l'étude clinique*

### 3.4 Objectifs de l'étude clinique

Les objectifs de l'étude clinique vont être différenciés en deux groupes.

D'une part, l'objectif primaire de l'étude clinique est le recueil du critère de jugement principal. Il est la donnée la plus importante à mesurer, car il va permettre l'évaluation de l'intervention en fonction des critères de succès planifiés.

D'autre part, l'objectif secondaire de l'étude va être le recueil d'un ou des critères de jugements secondaires à l'évaluation de l'intervention. Il va permettre de récolter des informations d'importances moindre permettant d'approfondir les connaissances relatives à l'intervention.

Les critères de jugements de notre étude clinique peuvent être définis dans un tableau

	Objectif mesurable	Description de la méthode de mesure	Temps opératoire
<b>Critère de jugement principal</b>	Succès clinique et radiographique de la FP sur des dents matures permanentes atteintes d'une lésion carieuse extrêmement profonde et présentant des symptômes de pulpite irréversible	<p>Clinique</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de douleur spontanée, absence d'un ostium fistulaire, absence d'inconfort à la palpation et la percussion</li> <li>- Pas de perte d'attache parodontale évalué à la sonde parodontale</li> </ul> <p>Radiographique</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de lésions décelables à la radio, tels qu'une atteinte furcataire, une résorption radiculaire ou une nouvelle lésion péri-apicale.</li> <li>- Évolution du PAI favorable :</li> </ul> <p>PAI à T0=1 et PAI à T1=1            PAI à T0=2 et PAI à T1≤2            PAI à T0≥3 et PAI à T1≤2</p>	<p>Clinique</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- T0 = 7 jours post opératoire</li> <li>- T1 = 3 mois post-opératoire</li> <li>- T2 = 6 mois post-opératoire</li> <li>- T3 = 1 an post-opératoire</li> <li>- T4 = visite annuelle pendant 3 ans</li> </ul> <p>Radiographique</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- T0 = Jour de l'opération</li> <li>- T1 = 1 an</li> </ul>
<b>Critères de jugement secondaires</b>	Diagnostic selon une nouvelle classification	Le diagnostic de l'inflammation pulpaire se fera selon la classification de Wolters et al. Il sera mis en relation avec les résultats thérapeutiques	Préopératoire
	Durée de l'hémostase	La durée de l'hémostase sera mesurée par le binôme de l'étudiant praticien. Elle sera mise en corrélation avec le résultat de la FP.	Peropératoire
	Nombre de racine	Le nombre de racine sera noté et mis en corrélation avec le résultat de la FP.	- T0 = Préopératoire
	Douleur	La douleur sera évaluée grâce à l'EVA par une réglette avec une face patient et une face mesure. La mesure sera mise dans un tableau récapitulatif, qualifiant la douleur d'absente (0), faible (1),	<ul style="list-style-type: none"> <li>- T0 = Préopératoire</li> <li>- T1 = 10 minutes postopératoire</li> <li>- T2 = 7 jours postopératoire</li> </ul>

	modérée (2), d'intense (3) et d'extrêmement intense (4). Elle sera évaluée à T0, T1, T2 et T3.  Elle sera mise en corrélation avec le résultat de la FP.	- T3 = 3 mois postopératoire
Qualité de vie en relation à la santé bucco-dentaire. Indice de la qualité de vie du patient en relation à sa santé buccale (GOHAI)	La qualité de vie sera évaluée de 12 à 60 selon le questionnaire GOHAI. La qualité de vie sera qualifiée de satisfaisante (57-60), de modérée (51-56) ou d'insatisfaisante (12-50). L'indice sera évalué à T0, T1, T2, T3.  Elle sera mise en corrélation avec le résultat de la FP.	- T0 = Préopératoire - T1 = 6 mois postopératoire - T2 = 1 an postopératoire - T3 = visite annuelle pendant 3 ans
Indice péri-apicale radiographique (PAI)	Il sera évalué selon la méthodologie proposée par Zanini (Illustration 1) lors des radiographies prises à T0, T1 et T2. Il sera mis en corrélation avec le résultat de la FP.	- T0 = Préopératoire - T1 = 1 an postopératoire - T2 = Tous les ans pendant 3 ans
Apparition d'oblitération pulpo-canaire (OPC)	L'oblitération pulpo-canaire se définit par le dépôt rapide de tissu dur dans l'espace canalaire suite à un traumatisme. Ce phénomène sera évalué grâce à la radiographie rétro-alvéolaire à T0, T1, T2, T3 et T4. Le temps et la prévalence d'apparition l'OPC sera mis en corrélation avec le résultat de la FP.	- T0 = Préopératoire - T1 = 7 jours postopératoire - T2 = 6 mois postopératoire - T3 = 1 an postopératoire - T4 = tous les ans pendant 3 ans

Tableau 8 : Les critères de jugements principal et secondaires de l'étude

### 3.5 Population cible

Comme vu précédemment, l'âge de la population ne change en rien le taux de succès de la pulpotomie. La population ciblée sera donc la population qui se présentera à l'étude et qui répondra aux critères d'éligibilité.

L'âge de la population cible sera de 10 à 100 ans

Le genre de la population ne sera pas pris en compte

Le calcul de l'effectif utile pour cette recherche clinique se basera sur les résultats de l'étude clinique menée par Taha et Khazali en 2017, évaluant un taux de succès de 83% lors de FP sur des dents matures présentant des signes de pulpite irréversible. Estimant le taux de succès de la FP dans notre étude à 93%, avec une puissance d'étude de 80% et un risque  $\alpha$  de 0,05, le calcul de l'effectif de notre recherche nous propose 90 cas. En considérant une perte de cas de 15% durant la période de suivi, il est convenable de porter ce montant à 105 cas.

### 3.6 Critères d'éligibilité

Les critères d'éligibilité à une étude clinique vont être les critères auxquels les patients doivent correspondre pour pouvoir participer à l'étude. L'éligibilité à la participation de l'étude clinique va être définie par des critères d'inclusion indiquant quels types de patient vont pouvoir participer à l'étude, et par des critères d'exclusion indiquant quels sont les patients qui ne peuvent pas participer à l'étude. Les critères d'inclusion vont être uniquement des critères définissables avant la participation du patient à l'étude, alors les critères d'exclusion peuvent également survenir pendant le déroulé du protocole clinique.

Selon les recommandations actuelles et en suivant les informations présentes dans les parties précédentes, nous pouvons élaborer ces critères sous la forme de deux tableaux

Critères d'inclusion	Patient âgé de 10 ans ou plus
	Consentement éclairé de non opposition à l'étude clinique écrit et signé par le patient ou par un tuteur légale
	Anamnèse du patient ne présentant pas de contre-indication au traitement à la FP
	Dent causale mature permanente ayant fini son apexification
	Dent causale pouvant être restaurée définitivement par une technique de collage direct
	Lésion carieuse extrêmement profonde étendue à la chambre pulpaire
	Réponse au test de sensibilité pulpaire thermique
	Présence de douleur spontanée ou de douleur exacerbée provoquée par un stimulus thermique froid
	Dent causale ne présentant pas de signe clinique de nécrose pulpaire tels que la présence d'ostium fistulaire ou la douleur à la mastication

*Tableau 9 : Critères d'inclusion du protocole d'étude clinique mesurant le taux de succès de la FP sur des dents présentant des lésions carieuses extrêmement profonde en soin d'urgence*

Critères d'exclusion	Anamnèse du patient présentant des antécédents de traitements par médicament pouvant altérer la réponse à la douleur tels que les antidépresseurs tricyclique
	Anamnèse du patient présentant un traitement médicamenteux pouvant influencer sur la réussite du traitement tels que le méthotrexate, les corticostéroïdes et la cyclosporine
	Anamnèse du patient présentant des maladies auto-immunes, un traitement par immunosuppresseurs, par corticostéroïdes au long-court ou tout autre affect diminuant la réponse immunitaire
	Patient présentant une résistance à l'anesthésie locale ou une dent causale devant être anesthésiée à l'aide d'une injection d'anesthésiant intra-pulpaire
	Absence de la dent controlatérale
	Dent causale n'assurant pas de fonction masticatoire
	Dent causale présentant une apéxification incomplète
	Dent causale faisant partie d'un traitement orthodontique en cours
	Dent causale présentant une restauration prothétique de type couronne
	Dent causale suspectée de fêlure ou de fracture corono-radicaire lors de l'examen clinique préopératoire ou pendant l'opération
	Dent causale présentant une résorption radicaire interne ou externe, ainsi qu'une oblitération pulpo-canaire mis en évidence par la radiographie retro-alvéolaire préopératoire
	Dent causale présentant une nécrose pulpaire mis en évidence lors de l'examen clinique préopératoire ou lors de l'inspection de la chambre pulpaire pendant l'opération
	Dent causale ne pouvant pas être restaurer en technique direct par manque de tissu dentaire

	Dent causale présentant une mobilité dentaire > 2 et/ou une lésion parodontale et/ou furcataire pour une molaire $\geq$ 5 mm
	Dent causale présentant aucune exposition pulpaire après l'éviction carieuse non sélective
	Hémorragie pulpaire de la dent causale qui n'est pas contrôlée après 10 minutes de tentatives d'hémostase
	Exposition pulpaire non aseptique lors de l'examen clinique préopératoire ou pendant l'opération

*Tableau 10 : Critères d'inclusion du protocole d'étude clinique mesurant le taux de succès de la FP sur des dents présentant des lésions carieuses extrêmement profonde en soin d'urgence*

## 3.7 Analyse et traitement des données

### 3.7.1 Principes juridiques

Les recommandations actuelles concernant les protocoles d'études cliniques définissent une étude pertinente si la cohorte dépasse 20 patients et est agencée sur une période de 1 an minimum (43).

La récolte des données et le traitement de celles-ci seront conformes aux principes du RGPD (Règlement Général sur la Protection des Données) instaurés dans l'Union Européenne et suivant les principes de la Loi Informatique de 1978. Le RGPD permet le contrôle du citoyen/patient sur le traitement de ses données par une entité du service publique ou privé, utilisant les informations pour son compte ou non (123).

Le RGPD va soumettre les études cliniques à ses principes dès lors que des données personnelles sont collectées, traitées et étudiées. Les principes du RGPD sont les suivants (124) :

- Collecter des données vraiment nécessaires pour atteindre les objectifs de l'étude.

Les données sont collectées pour un but bien déterminé et légitime et ne sont pas traitées ultérieurement de façon incompatible avec cet objectif initial. Le principe de finalité limite la manière dont vous pourrez utiliser ou réutiliser ces données dans le futur et évite la collecte de données « au cas où ». Le principe de minimisation limite la collecte aux seules données strictement nécessaires à la réalisation de votre objectif.

- Être transparent sur l'utilisation des données.

Les individus doivent conserver la maîtrise des données qui les concernent. Cela suppose qu'ils soient clairement informés de l'utilisation qui sera faite de leurs données dès leur collecte. Les données ne peuvent en aucun cas être collectées à leur insu. Les personnes doivent également être informées de leurs droits et des modalités d'exercice de ces droits.

- Organiser et favoriser l'exercice des droits des personnes

Des modalités permettant aux personnes d'exercer leurs droits doivent être mis en place et la réponse à ces demandes de consultation ou d'accès, de rectification ou de suppression des données, voire d'opposition, doit se faire dans les meilleurs délais. Ces droits doivent pouvoir s'exercer par voie électronique à partir d'une adresse dédiée.

- Fixer des durées de conservation des données

Les données ne peuvent être conservées indéfiniment. Elles sont conservées en base active, c'est-à-dire que le temps de leurs utilisations sera strictement nécessaire à la réalisation de l'objectif poursuivi. Elles doivent être par la suite détruites, anonymisées ou archivées dans le respect des obligations légales applicables en matière de conservation des archives publiques.

- Sécuriser les données et identifier les risques

Des mesures utiles pour garantir la sécurité des données doivent être prises : sécurité physique ou sécurité informatique, sécurisation des locaux, armoires et postes de travail, gestion stricte des habilitations et droits d'accès informatiques.

- Inscrire la sécurisation des données dans une démarche continue

La conformité au RGPD doit être constante et réévaluée régulièrement, afin de s'assurer que les mesures de sécurité du stockage et du traitement des données n'ont pas évolués

### 3.7.2 Note d'information et de non opposition

Préalablement à la réalisation d'une recherche impliquant la personne humaine, une note d'information est délivrée à la personne qui y participe par l'investigateur ou par un médecin qui le représente. Lorsque l'investigateur est une personne qualifiée, cette note d'information est délivrée par celle-ci ou par une autre personne qualifiée qui la représente (125).

Dans le cadre de notre étude clinique, la participation à l'étude se fera suite à la signature d'un document d'information attestant sa compréhension. Ce document a comme objectif de présenter les principales informations sur la recherche, les informations sur les droits des participants et sur la gestion des données recueillies, ainsi qu'un glossaire. Ce document sera envoyé au préalable au Comité de Protection des Personnes (CPP) du Rhône et devra être validé pour pouvoir entamer l'étude.

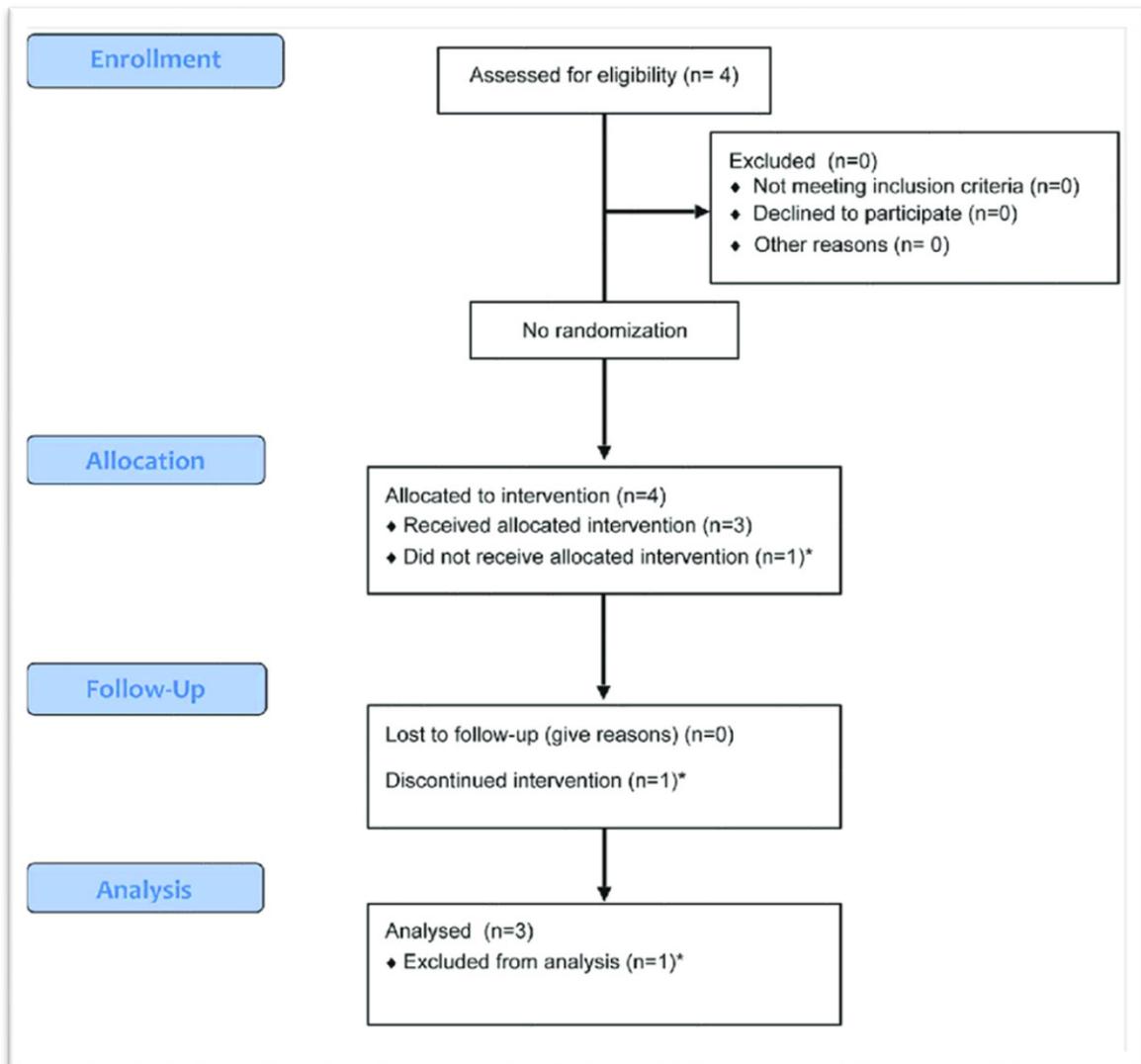
Des aides à l'élaboration de ce type de document peuvent être retrouvés sur internet (126,127). Pour une RIPH de type 3, un formulaire de non-opposition doit être délivré. Il n'est pas nécessaire que celui-ci soit un formulaire de consentement.

### 3.7.3 Flow Chart ou schéma de l'étude

Une fois qu'un patient a été considéré comme potentiellement apte à participer à l'étude et qu'il a exprimé le souhait d'y prendre part, un formulaire d'information et de non-opposition lui est remis. Au cours de la procédure de consentement, il est établi que l'indication du traitement pour ce type de maladie pulpaire est la FP. En raison de la qualité urgente du soin, il n'y a pas de temps de réflexion aménagé pour le patient afin de consentir à participer à l'étude. L'explication de la note d'information par l'investigateur de l'étude ou par un dentiste le représentant et la discussion avec le patient se fait le même jour. Si le patient reste disposé à participer, il doit signer la note d'information ainsi que le formulaire de non-opposition.

Dans le cadre de cette étude, le patient sera intégré à celle-ci uniquement si la pulpe est exposée après éviction carieuse non-sélective. Si la pulpe n'est pas exposée, un coiffage pulpaire indirect sera effectué. De même que si la pulpe exposée présente des signes de nécrose, une thérapeutique de temporisation en vue d'un traitement canalair non chirurgical sera effectuée.

Le nombre de cas inclus dans l'étude sera résumé dans un Flow Chart afin de faciliter la visualisation du déroulement de l'étude. Il représente le processus de sélection des patients



*Illustration 15 : Exemple de Flow Chart d'une étude clinique à 1 seule cohorte (128)*

## Conclusion

La pulpotomie complète est une thérapie offrant de multiples avantages au patient et au praticien dans le traitement d'urgence de la pulpite irréversible. Tout au long de cette recherche, plusieurs enjeux ont été identifiés et abordés, mettant en lumière l'importance du diagnostic précis de l'état inflammatoire pulpaire afin de prendre en compte le potentiel réparateur du complexe dentino-pulpaire dans les thérapies associées.

En effet, le maintien de la vitalité pulpaire est une constante cruciale dans la pratique dentaire actuelle sur les dents atteintes d'affections carieuses sévères. La pulpotomie cervicale a été identifiée comme une thérapie conservatrice essentielle dans l'attirail thérapeutique du praticien afin de maintenir la vitalité de l'organe dentaire. Sur le plan de la santé publique, la possibilité de réduire la durée du traitement à une seule séance facilite un suivi efficace des patients se présentant aux services d'urgence dentaire. De plus, la réduction des coûts liée à cette thérapie permet une meilleure acceptation de la prise en charge par le patient.

Il fallait cependant mettre en place un protocole clinique spécifique à cette pratique, afin d'améliorer les résultats de la FP et ainsi standardiser sa mise en œuvre au sein des services d'urgences dentaire. Ce protocole permet de favoriser une pratique dentaire respectant l'économie tissulaire et la prévention de la dévitalisation systématique lors d'atteintes irréversibles de la pulpe.

La réussite de la FP a été définie cliniquement et radiologiquement tel un acte d'odontologie conservatrice conventionnel, car elle vise à restaurer la dent sur l'arcade de manière définitive. La compréhension des facteurs pré, per et postopératoires influençant la réussite de la thérapie de maintien de la vitalité a été un point majeur dans cette recherche. Nous avons donc pu comprendre l'importance du diagnostic pulpaire préopératoire suivant la classification différentielle de Wolters et al.

L'élaboration d'un protocole d'étude clinique a été une évidence afin d'étudier le taux de réussite de la FP dans un service d'urgence. Ce protocole a été confectionné afin de mieux comprendre la pertinence de certains facteurs dans la réussite de la thérapie de maintien de la vitalité. L'approche de ce protocole est de permettre un meilleur diagnostic de la pulpite irréversible et d'offrir des atouts aux praticiens leur permettant une meilleure compréhension du pronostic de cette thérapie. En effet, il est important de reconnaître les limites des données récoltées tels que l'incidence d'une oblitération pulpaire lors de la FP, ainsi que le manque de retour sensorielle postopératoire via les tests de vitalités pulpaire au froid.

Cette recherche ouvre la voie à l'intégration de technologies futures potentielles dans la pratique dentaire, aussi bien dans l'établissement du diagnostic que dans l'évaluation du succès de la thérapie. Par exemple, elles pourraient permettre d'étayer le diagnostic de l'état inflammatoire au fauteuil par la corrélation des radiographies préopératoires et de l'historique de douleur du patient. L'utilisation des médiateurs de l'inflammation pourrait également permettre une meilleure compréhension du potentiel de réparation du complexe dentino-pulpaire. L'appréciation de la réussite du traitement via l'utilisation des technologies informatiques utilisant le machine learning pourrait assister le praticien dans la prise de décision en pré et postopératoire.

Il est important de souligner que les thérapies endodontiques traditionnelles ne doivent pas être exclues dans le traitement de la pulpite irréversible. En effet, la recherche de l'économie tissulaire doit être un objectif pour le praticien, au même titre que la réhabilitation de la fonction de la dent.

Cette thèse a eu pour vocation de permettre une meilleure compréhension de l'état inflammatoire de l'organe dentaire et de son diagnostic, et d'une identification des thérapies à mettre en place afin de potentialiser les processus de réparation de celui-ci. Elle nous a permis d'élaborer un protocole de recherche clinique proposant un questionnaire sur la prise en charge des affections inflammatoires pulpaires.



## Illustrations

- Illustration 1 : Observation macroscopique de la réaction pulpaire en fonction de différents stades de progression (7)..... 15
- Illustration 2 : Rôle possible des odontoblastes dans l'initiation de la réponse immunitaire de la pulpe dentaire aux bactéries cariogènes (15)..... 19
- Illustration 3 : La dentine réactionnelle (Rd) séparée de la dentine normale (d) par une ligne traumatique calcifiée (étoile). Cette dentine est formée par les odontoblastes (O), sécrétant du collagène dans la prédentine (Pd). Les cellules pulpaires (p) ne sont pas impliquées dans la formation de cette dentine physiopathologique (25). ..... 22
- Illustration 4 : Formation d'une dentine réparatrice (étoile) scellant l'exposition pulpaire à 15 jours (a) et 30 jours (b) (25)..... 23
- Illustration 5 : (a) Radiographie périapicale de la dent n° 38 avec carie profonde. (b) Histologie de la dent n° 38 montrant une nécrose localisée dans la corne pulpaire mésiale au site d'exposition pulpaire carieuse (flèche). À quelques millimètres de la nécrose pulpaire localisée, la pulpe coronaire est exempte d'inflammation (étoile ; hématoxyline-éosine, ×16). (c) Tache bactérienne d'une section proche de celle de (b) (Brown & Brenn, × 16). (d) Grossissement plus élevé du micro abcès en (c). De nombreuses bactéries sont présentes dans le tissu nécrotique (Brown & Brenn, ×100). (10)..... 26
- Illustration 6 : Schéma simplifié illustrant les applications potentielles de la prochaine génération d'outils de diagnostic et de biomatériaux de restauration agrémentés de molécules de l'inflammation permettant de cibler un processus de réparation cellulaire (35) ..... 29
- Illustration 7 : Arbre décisionnel des thérapies sur les dents matures proposé par l'ESE en fonction du gradient thérapeutique (43)..... 32
- Illustration 8 : Traitement de la première molaire maxillaire droite. (A) Radiographie initiale avec carie profonde, (B) photographie clinique initiale avec carie occluso-mésiale étendue, (C) exposition pulpaire avec saignement de la corne pulpaire mésio-vestibulaire, (D) coiffage pulpaire direct au MTA sur la corne pulpaire MV et la dentine environnante,

(E) radiographie de suivi à 23 mois post-opératoire et (F) photographie clinique de suivi après 23 mois (59). .....	39
Illustration 9 : Pulpotomie partielle sur une molaire mandibulaire mature. Amputation du tissu pulpaire sur 2-3 mm grâce à une fraise boule diamantée stérile montée sur un instrument rotatif à haute vitesse sous irrigation constante (61). .....	41
Illustration 10 : Pulpotomie complète sur molaire mandibulaire mature. Amputation du tissu pulpaire jusqu’aux orifices radiculaires grâce à une fraise boule diamantée stérile montée sur un instrument rotatif à haute vitesse sous irrigation constante (61).....	42
Illustration 11 : Radiographies et dessins de références associées à leurs scores de PAI présenté par Ørstavik en 1986 (72) .....	50
Illustration 12 : Guide de lecture pratique présenté par Zanini en 2021 afin de compléter la grille de lecture du PAI par Ørstavik (74) .....	51
Illustration 13 : Échelle visuelle analogique (EVA).....	52
Illustration 14 : Logigramme de la procédure de qualification de l’étude par l’INSERM (118) .....	74
Illustration 15 : Exemple de Flow Chart d’une étude clinique à 1 seule cohorte (128) .	89

# Tableaux

Tableau 1 : Classification de la pulpite proposée par Wolters et al. (4).....	18
Tableau 2 : Résultats attendus de la pulpotomie classés par ordre de priorité, avec leurs temps de suivi et les outils recommandés dictés par l'ESE (71).....	49
Tableau 3 : Grille de lecture du PAI (72).....	50
Tableau 4 : Tableau de correspondance des niveaux de douleur pour l'indicateur « Évaluation et prise en charge de la douleur » (76).....	53
Tableau 5 : Questionnaire GOHAI permettant l'évaluation de la qualité de vie du patient en relation à sa santé bucco-dentaire (79). .....	55
Tableau 6 : Détails de l'étude.....	77
Tableau 7 : Les critères de succès de l'étude et le calendrier de suivi du patient durant l'étude clinique.....	79
Tableau 8 : Les critères de jugements principal et secondaires de l'étude.....	81
Tableau 9 : Critères d'inclusion du protocole d'étude clinique mesurant le taux de succès de la FP sur des dents présentant des lésions carieuses extrêmement profonde en soin d'urgence.....	83
Tableau 10 : Critères d'inclusion du protocole d'étude clinique mesurant le taux de succès de la FP sur des dents présentant des lésions carieuses extrêmement profonde en soin d'urgence.....	85

## Références bibliographiques

1. Traitements endodontiques – Rapport d'évaluation HAS 2008 – docuDent.fr [Internet]. [cité 27 févr 2024]. Disponible sur: <https://docudent.fr/documents-has/traitements-endodontiques-rapport-devaluation-has-2008/>
2. Haute Autorité de Santé [Internet]. [cité 27 févr 2024]. Évaluation du parage de plaie de la pulpe par coiffage pulpaire direct - rapport d'évaluation technologique. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/jcms/c\\_2893724/fr/evaluation-du-parage-de-plaie-de-la-pulpe-par-coiffage-pulpaire-direct-rapport-d-evaluation-technologique](https://www.has-sante.fr/jcms/c_2893724/fr/evaluation-du-parage-de-plaie-de-la-pulpe-par-coiffage-pulpaire-direct-rapport-d-evaluation-technologique)
3. Dammaschke T, Leidinger J, Schäfer E. Long-term evaluation of direct pulp capping--treatment outcomes over an average period of 6.1 years. *Clin Oral Investig.* oct 2010;14(5):559-67.
4. Wolters WJ, Duncan HF, Tomson PL, Karim IE, McKenna G, Dorri M, et al. Minimally invasive endodontics: a new diagnostic system for assessing pulpitis and subsequent treatment needs. *Int Endod J.* 2017;50(9):825-9.
5. Berthé D. Motifs de consultation des patients dans le Service d'Odontostomatologie de l'Hopital de Kayes en 2018, Mali. *Mali Santé Publique.* 24 juill 2020;79-83.
6. Abbott PV, Yu C. A clinical classification of the status of the pulp and the root canal system. *Aust Dent J.* mars 2007;52(1 Suppl):S17-31.
7. Guide to Clinical Endodontics [Internet]. American Association of Endodontists. [cité 6 févr 2024]. Disponible sur: <https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/guide-clinical-endodontics/>
8. Zanini M, Meyer E, Simon S. Pulp Inflammation Diagnosis from Clinical to Inflammatory Mediators: A Systematic Review. *J Endod.* juill 2017;43(7):1033-51.
9. Ricucci D, Loghin S, Siqueira JF. Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses. *J Endod.* déc 2014;40(12):1932-9.
10. Michaelson PL, Holland GR. Is pulpitis painful? *Int Endod J.* oct 2002;35(10):829-32.
11. Seltzer S, Bender IB, Ziontz M. The dynamics of pulp inflammation: correlations between diagnostic data and actual histologic findings in the pulp. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* juill 1963;16:846-871 contd.
12. By ES of E (ESE) developed, Duncan HF, Galler KM, Tomson PL, Simon S, El-Karim I, et al. European Society of Endodontology position statement: Management of deep caries and the exposed pulp. *Int Endod J.* 2019;52(7):923-34.
13. Lin LM, Ricucci D, Saoud TM, Sigurdsson A, Kahler B. Vital pulp therapy of mature permanent teeth with irreversible pulpitis from the perspective of pulp biology. *Aust Endod J J Aust Soc Endodontology Inc.* avr 2020;46(1):154-66.
14. Bjørndal L, Demant S, Dabelsteen S. Depth and activity of carious lesions as indicators for the regenerative potential of dental pulp after intervention. *J Endod.* avr 2014;40(4 Suppl):S76-81.

15. Farges JC, Alliot-licht B, Baudouin C, Msika P, Bleicher F, Carrouel F. Odontoblast control of dental pulp inflammation triggered by cariogenic bacteria. *Front Physiol* [Internet]. 2013 [cité 6 févr 2024];4. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2013.00326>
16. Durand SH, Flacher V, Roméas A, Carrouel F, Colomb E, Vincent C, et al. Lipoteichoic Acid Increases TLR and Functional Chemokine Expression while Reducing Dentin Formation in In Vitro Differentiated Human Odontoblasts. *J Immunol*. 1 mars 2006;176(5):2880-7.
17. Farges JC, Keller JF, Carrouel F, Durand SH, Romeas A, Bleicher F, et al. Odontoblasts in the dental pulp immune response. *J Exp Zool B Mol Dev Evol*. 2009;312B(5):425-36.
18. Farges JC, Carrouel F, Keller JF, Baudouin C, Msika P, Bleicher F, et al. Cytokine production by human odontoblast-like cells upon Toll-like receptor-2 engagement. *Immunobiology*. 1 avr 2011;216(4):513-7.
19. Carrouel F, Staquet MJ, Keller JF, Baudouin C, Msika P, Bleicher F, et al. Lipopolysaccharide-binding Protein Inhibits Toll-like Receptor 2 Activation by Lipoteichoic Acid in Human Odontoblast-like Cells. *J Endod*. 1 août 2013;39(8):1008-14.
20. Galler KM, Weber M, Korkmaz Y, Widbiller M, Feuerer M. Inflammatory Response Mechanisms of the Dentine–Pulp Complex and the Periapical Tissues. *Int J Mol Sci*. janv 2021;22(3):1480.
21. Magloire H, Romeas A, Melin M, Couble ML, Bleicher F, Farges JC. Molecular Regulation of Odontoblast Activity under Dentin Injury. *Adv Dent Res*. 1 août 2001;15(1):46-50.
22. Chen M, Zeng J, Yang Y, Wu B. Diagnostic biomarker candidates for pulpitis revealed by bioinformatics analysis of merged microarray gene expression datasets. *BMC Oral Health*. 12 oct 2020;20(1):279.
23. Korkmaz Y, Lang H, Beikler T, Cho B, Behrends S, Bloch W, et al. Irreversible Inflammation is Associated with Decreased Levels of the  $\alpha$ 1-,  $\beta$ 1-, and  $\alpha$ 2-Subunits of sGC in Human Odontoblasts. *J Dent Res*. 1 avr 2011;90(4):517-22.
24. Tziafas D, Alvanou A, Panagiotakopoulos N, Smith AJ, Lesot H, Komnenou A, et al. Induction of odontoblast-like cell differentiation in dog dental pulps after in vivo implantation of dentine matrix components. *Arch Oral Biol*. 1 oct 1995;40(10):883-93.
25. Goldberg M, Farges JC, Lacerda-Pinheiro S, Six N, Jegat N, Decup F, et al. Inflammatory and immunological aspects of dental pulp repair. *Pharmacol Res*. 1 août 2008;58(2):137-47.
26. Goldberg M, Smith AJ. Cells and Extracellular Matrices of Dentin and Pulp: A Biological Basis for Repair and Tissue Engineering. *Crit Rev Oral Biol Med*. 1 janv 2004;15(1):13-27.
27. Boyle M, Chun C, Strojny C, Narayanan R, Bartholomew A, Sundivakkam P, et al. Chronic Inflammation and Angiogenic Signaling Axis Impairs Differentiation of Dental-Pulp Stem Cells. *PLOS ONE*. 26 nov 2014;9(11):e113419.
28. Duncan HF, Cooper PR, Smith AJ. Dissecting dentine–pulp injury and wound healing responses: consequences for regenerative endodontics. *Int Endod J*. 2019;52(3):261-6.

29. Farges JC, Alliot-Licht B, Renard E, Ducret M, Gaudin A, Smith AJ, et al. Dental Pulp Defence and Repair Mechanisms in Dental Caries. *Mediators Inflamm.* 11 oct 2015;2015:e230251.
30. Jespersen JJ, Hellstein J, Williamson A, Johnson WT, Qian F. Evaluation of Dental Pulp Sensibility Tests in a Clinical Setting. *J Endod.* 1 mars 2014;40(3):351-4.
31. Villa-Chávez CE, Patiño-Marín N, Loyola-Rodríguez JP, Zavala-Alonso NV, Martínez-Castañón GA, Medina-Solís CE. Predictive Values of Thermal and Electrical Dental Pulp Tests: A Clinical Study. *J Endod.* 1 août 2013;39(8):965-9.
32. Patel S, Brown J, Pimentel T, Kelly RD, Abella F, Durack C. Cone beam computed tomography in Endodontics – a review of the literature. *Int Endod J.* 2019;52(8):1138-52.
33. Haug SR, Marthinussen MC. Acute Dental Pain and Salivary Biomarkers for Stress and Inflammation in Patients with Pulpal or Periapical Inflammation. *J Oral Facial Pain Headache.* 2019;33(2):227-33.
34. Brizuela C, Meza G, Mercadé M, Inostroza C, Chaparro A, Bravo I, et al. Inflammatory biomarkers in dentinal fluid as an approach to molecular diagnostics in pulpitis. *Int Endod J.* 2020;53(9):1181-91.
35. Duncan HF. Present status and future directions—Vital pulp treatment and pulp preservation strategies. *Int Endod J.* 2022;55(S3):497-511.
36. Demant S, Dabelsteen S, Bjørndal L. A macroscopic and histological analysis of radiographically well-defined deep and extremely deep carious lesions: carious lesion characteristics as indicators of the level of bacterial penetration and pulp response. *Int Endod J.* mars 2021;54(3):319-30.
37. Bender IB. Factors influencing the radiographic appearance of bony lesions. *J Endod.* 1 avr 1982;8(4):161-70.
38. Qin C, Yao D, Shi Y, Song Z. Computer-aided detection in chest radiography based on artificial intelligence: a survey. *Biomed Eng OnLine.* 22 août 2018;17(1):113.
39. Katzen J, Dodelzon K. A review of computer aided detection in mammography. *Clin Imaging.* 1 nov 2018;52:305-9.
40. Zheng L, Wang H, Mei L, Chen Q, Zhang Y, Zhang H. Artificial intelligence in digital cariology: a new tool for the diagnosis of deep caries and pulpitis using convolutional neural networks. *Ann Transl Med.* mai 2021;9(9):763.
41. Vigil A, Bharathi S. Diagnosis of Pulpitis from Dental Panoramic Radiograph Using Histogram of Gradients with Discrete Wavelet Transform and Multilevel Neural Network Techniques. *Trait Signal.* oct 2021;38(5):1549-55.
42. Reyes LT, Knorst JK, Ortiz FR, Ardenghi TM. Scope and challenges of machine learning-based diagnosis and prognosis in clinical dentistry: A literature review. *J Clin Transl Res.* 30 juill 2021;7(4):523-39.
43. Duncan HF, Kirkevang LL, Peters OA, El-Karim I, Krastl G, Del Fabbro M, et al. Treatment of pulpal and apical disease: The European Society of Endodontology (ESE) S3-level clinical practice guideline. *Int Endod J.* 2023;56(S3):238-95.
44. Galicia JC, Peters OA. Proposal for a new diagnostic terminology to describe the status of the dental pulp. *Int Endod J.* août 2021;54(8):1415-6.

45. Rechenberg DK, Zehnder M. Call for a review of diagnostic nomenclature and terminology used in Endodontics. *Int Endod J.* 2020;53(10):1315-7.
46. Endodontology ES of. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J.* 2006;39(12):921-30.
47. Bjørndal L, Simon S, Tomson PL, Duncan HF. Management of deep caries and the exposed pulp. *Int Endod J.* 2019;52(7):949-73.
48. Ricucci D, Russo J, Rutberg M, Burleson JA, Spångberg LSW. A prospective cohort study of endodontic treatments of 1,369 root canals: results after 5 years. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 1 déc 2011;112(6):825-42.
49. Iaculli F, Rodríguez-Lozano FJ, Briseño-Marroquín B, Wolf TG, Spagnuolo G, Rengo S. Vital Pulp Therapy of Permanent Teeth with Reversible or Irreversible Pulpitis: An Overview of the Literature. *J Clin Med.* janv 2022;11(14):4016.
50. Ricucci D, Siqueira JF, Li Y, Tay FR. Vital pulp therapy: histopathology and histobacteriology-based guidelines to treat teeth with deep caries and pulp exposure. *J Dent.* 1 juill 2019;86:41-52.
51. Galani M, Tewari S, Sangwan P, Mittal S, Kumar V, Duhan J. Comparative Evaluation of Postoperative Pain and Success Rate after Pulpotomy and Root Canal Treatment in Cariously Exposed Mature Permanent Molars: A Randomized Controlled Trial. *J Endod.* 1 déc 2017;43(12):1953-62.
52. Di Filippo G, Sidhu SK, Chong BS. Apical periodontitis and the technical quality of root canal treatment in an adult sub-population in London. *Br Dent J.* 1 mai 2014;216(10):E22.
53. Schwendicke F, Frencken JE, Bjørndal L, Maltz M, Manton DJ, Ricketts D, et al. Managing Carious Lesions: Consensus Recommendations on Carious Tissue Removal. *Adv Dent Res.* 1 mai 2016;28(2):58-67.
54. Drouri S, El Merini H, Sy A, Jabri M. Evaluation of Direct and Indirect Pulp Capping With Biodentine in Vital Permanent Teeth With Deep Caries Lesions. *Cureus.* mai 2023;15(5):e39374.
55. Maltz M, Garcia R, Jardim JJ, de Paula LM, Yamaguti PM, Moura MS, et al. Randomized Trial of Partial vs. Stepwise Caries Removal: 3-year Follow-up. *J Dent Res.* 1 nov 2012;91(11):1026-31.
56. Hashem D, Mannocci F, Patel S, Manoharan A, Watson TF, Banerjee A. Evaluation of the efficacy of calcium silicate vs. glass ionomer cement indirect pulp capping and restoration assessment criteria: a randomised controlled clinical trial—2-year results. *Clin Oral Investig.* 1 avr 2019;23(4):1931-9.
57. Harms CS, Schäfer E, Dammaschke T. Clinical evaluation of direct pulp capping using a calcium silicate cement—treatment outcomes over an average period of 2.3 years. *Clin Oral Investig.* 1 sept 2019;23(9):3491-9.
58. Cushley S, Duncan HF, Lappin MJ, Chua P, Elamin AD, Clarke M, et al. Efficacy of direct pulp capping for management of cariously exposed pulps in permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J.* 2021;54(4):556-71.
59. Marques MS, Wesselink PR, Shemesh H. Outcome of Direct Pulp Capping with Mineral Trioxide Aggregate: A Prospective Study. *J Endod.* 1 juill 2015;41(7):1026-31.
60. Chailertvanitkul P, Paphangkorakit J, Sooksantisakoonchai N, Pumas N,

Pairojamornyoot W, Leela-apiradee N, et al. Randomized control trial comparing calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate for partial pulpotomies in cariously exposed pulps of permanent molars. *Int Endod J.* 2014;47(9):835-42.

61. Ramani A, Sangwan P, Tewari S, Duhan J, Mittal S, Kumar V. Comparative evaluation of complete and partial pulpotomy in mature permanent teeth with symptomatic irreversible pulpitis: A randomized clinical trial. *Int Endod J.* 2022;55(5):430-40.

62. Cushley S, Duncan HF, Lappin MJ, Tomson PL, Lundy FT, Cooper P, et al. Pulpotomy for mature carious teeth with symptoms of irreversible pulpitis: A systematic review. *J Dent.* 1 sept 2019;88:103158.

63. Elmsmari F, Ruiz XF, Miró Q, Feijoo-Pato N, Durán-Sindreu F, Olivieri JG. Outcome of Partial Pulpotomy in Cariously Exposed Posterior Permanent Teeth: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Endod.* 1 nov 2019;45(11):1296-1306.e3.

64. Jassal A, Nawal RR, Yadav S, Talwar S, Yadav S, Duncan HF. Outcome of partial and full pulpotomy in cariously exposed mature molars with symptoms indicative of irreversible pulpitis: A randomized controlled trial. *Int Endod J.* 2023;56(3):331-44.

65. Taha NA, Abdelkhader SZ. Outcome of full pulpotomy using Biodentine in adult patients with symptoms indicative of irreversible pulpitis. *Int Endod J.* 2018;51(8):819-28.

66. Aravind A, R R, Sharma R, Rana A, Sharma S, Kumar V, et al. Response to Pulp Sensibility Tests after Full Pulpotomy in Permanent Mandibular Teeth with Symptomatic Irreversible Pulpitis: A Retrospective Data Analysis. *J Endod.* 1 janv 2022;48(1):80-6.

67. Caplan DJ, Cai J, Yin G, White BA. Root Canal Filled Versus Non-Root Canal Filled Teeth: A Retrospective Comparison of Survival Times. *J Public Health Dent.* 2005;65(2):90-6.

68. Duncan HF, El-Karim I, Dummer PMH, Whitworth J, Nagendrababu V. Factors that influence the outcome of pulpotomy in permanent teeth. *Int Endod J.* 2023;56(S2):62-81.

69. Zanini M, Hennequin M, Cousson PY. A Review of Criteria for the Evaluation of Pulpotomy Outcomes in Mature Permanent Teeth. *J Endod.* 1 août 2016;42(8):1167-74.

70. Cushley S, Duncan HF, Lundy FT, Nagendrababu V, Clarke M, El Karim I. Outcomes reporting in systematic reviews on vital pulp treatment: A scoping review for the development of a core outcome set. *Int Endod J.* 2022;55(9):891-909.

71. Duncan HF, Nagendrababu V, El-Karim IA, Dummer PMH. Outcome measures to assess the effectiveness of endodontic treatment for pulpitis and apical periodontitis for use in the development of European Society of Endodontology (ESE) S3 level clinical practice guidelines: a protocol. *Int Endod J.* 2021;54(5):646-54.

72. Ørstavik D, Kerekes K, Eriksen HM. The periapical index: A scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. *Dent Traumatol.* 1986;2(1):20-34.

73. Zanini M. Evaluer le résultat des pulpotomies totales à visée définitive sur les dents permanentes matures [Internet] [phdthesis]. Université Clermont Auvergne [2017-2020]; 2019 [cité 13 févr 2024]. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-02918202>

74. Zanini M, Decerle N, Hennequin M, Cousson PY. Revisiting Ørstavik's PAI score to produce a reliable and reproducible assessment of the outcomes of endodontic

treatments in routine practice. *Eur J Dent Educ.* 2021;25(2):291-8.

75. Guidelines on CBCT for Dental and Maxillofacial Radiology | SEDENTEXCT [Internet]. [cité 13 févr 2024]. Disponible sur: <https://sedentexct.eu/content/guidelines-cbct-dental-and-maxillofacial-radiology>

76. liste\_echelles\_acceptees\_2022.pdf [Internet]. [cité 20 févr 2024]. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2022-01/liste\\_echelles\\_acceptees\\_2022.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2022-01/liste_echelles_acceptees_2022.pdf)

77. Dugas NN, Lawrence HP, Teplitsky P, Friedman S. Quality of Life and Satisfaction Outcomes of Endodontic Treatment. *J Endod.* 1 déc 2002;28(12):819-27.

78. Slade GD, Spencer AJ. Social impact of oral conditions among older adults. *Aust Dent J.* 1994;39(6):358-64.

79. Tubert-Jeannin S, Riordan PJ, Morel-Papernot A, Porcheray S, Saby-Collet S. Validation of an oral health quality of life index (GOHAI) in France. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2003;31(4):275-84.

80. Decerle N, Cousson PY, Nicolas E, Hennequin M. A Comprehensive Approach Limiting Extractions under General Anesthesia Could Improve Oral Health. *Int J Environ Res Public Health.* janv 2020;17(19):7336.

81. Kunert GG, Kunert IR, da Costa Filho LC, de Figueiredo JAP. Permanent teeth pulpotomy survival analysis: retrospective follow-up. *J Dent.* 1 sept 2015;43(9):1125-31.

82. Careddu R, Duncan HF. A prospective clinical study investigating the effectiveness of partial pulpotomy after relating preoperative symptoms to a new and established classification of pulpitis. *Int Endod J.* 2021;54(12):2156-72.

83. Kang CM, Sun Y, Song JS, Pang NS, Roh BD, Lee CY, et al. A randomized controlled trial of various MTA materials for partial pulpotomy in permanent teeth. *J Dent.* 1 mai 2017;60:8-13.

84. Donnelly A, Foschi F, McCabe P, Duncan HF. Pulpotomy for treatment of complicated crown fractures in permanent teeth: A systematic review. *Int Endod J.* 2022;55(4):290-311.

85. Ricucci D, Pascon EA, Pitt Ford TR, Langeland K. Epithelium and bacteria in periapical lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 1 févr 2006;101(2):239-49.

86. Lin L, Shovlin F, Skribner J, Langeland K. Pulp biopsies from the teeth associated with periapical radiolucency. *J Endod.* 1 sept 1984;10(9):436-48.

87. Baranwal HC, Mittal N, Yadav J, Rani P, Naveen Kumar P. Outcome of partial pulpotomy verses full pulpotomy using biodentine in vital mature permanent molar with clinical symptoms indicative of irreversible pulpitis: A randomized clinical trial. *J Conserv Dent JCD.* 2022;25(3):317-23.

88. Skitioui M, Seck A, Niang SO, Fikhar A, Touré B. The treatment of mature permanent teeth with irreversible pulpitis by cervical pulpotomy: A systematic review. *Aust Endod J.* 2023;49(S1):488-93.

89. Abella F, Patel S, Duran-Sindreu F, Mercadé M, Bueno R, Roig M. Evaluating the Periapical Status of Teeth with Irreversible Pulpitis by Using Cone-beam Computed Tomography Scanning and Periapical Radiographs. *J Endod.* 1 déc 2012;38(12):1588-91.

90. Qudeimat MA, Barrieshi-Nusair KM, Owais AI. Calcium Hydroxide vs. Mineral Trioxide Aggregates for Partial Pulpotomy of Permanent Molars with Deep Caries. *Eur Arch Paediatr Dent*. 1 juin 2007;8(2):99-104.
91. Gemmell A, Stone S, Edwards D. Investigating acute management of irreversible pulpitis: a survey of general dental practitioners in North East England. *Br Dent J*. avr 2020;228(7):521-6.
92. Motoki O, Fergus DH, Yusuke T, Nanako K, Matsumoto S, Mikako H. Partial Pulpotomy to Successfully Treat a Caries-Induced Pulpal Micro-Abscess: A Case Report. *Front Dent Med* [Internet]. 2021 [cité 19 févr 2024];2. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fdmed.2021.678632>
93. Taha NA, Khazali MA. Partial Pulpotomy in Mature Permanent Teeth with Clinical Signs Indicative of Irreversible Pulpitis: A Randomized Clinical Trial. *J Endod*. 1 sept 2017;43(9):1417-21.
94. Munir A, Zehnder M, Rechenberg DK. Wound Lavage in Studies on Vital Pulp Therapy of Permanent Teeth with Carious Exposures: A Qualitative Systematic Review. *J Clin Med*. avr 2020;9(4):984.
95. Ballal NV, Duncan HF, Wiedemeier DB, Rai N, Jalan P, Bhat V, et al. MMP-9 Levels and NaOCl Lavage in Randomized Trial on Direct Pulp Capping. *J Dent Res*. 1 avr 2022;101(4):414-9.
96. Ballal NV, Duncan HenryF, Wiedemeier DanielB, Rai N, Jalan P, Bhat V, et al. 4-Year Pulp Survival in a Randomized Trial on Direct Pulp Capping. *J Endod*. 1 janv 2024;50(1):4-9.
97. Qureshi A, E. S, Nandakumar, Pratapkumar, Sambashivarao. Recent Advances in Pulp Capping Materials: An Overview. *J Clin Diagn Res JCDR*. janv 2014;8(1):316-21.
98. Cohen BD, Combe EC. Development of new adhesive pulp capping materials. *Dent Update*. mars 1994;21(2):57-62.
99. Kundzina R, Stangvaltaite L, Eriksen HM, Kerosuo E. Capping carious exposures in adults: a randomized controlled trial investigating mineral trioxide aggregate versus calcium hydroxide. *Int Endod J*. 2017;50(10):924-32.
100. Parioikh M, Torabinejad M. Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review—Part III: Clinical Applications, Drawbacks, and Mechanism of Action. *J Endod*. 1 mars 2010;36(3):400-13.
101. Taha NA, Al-Rawash MH, Imran ZA. Outcome of full pulpotomy in mature permanent molars using 3 calcium silicate-based materials: A parallel, double blind, randomized controlled trial. *Int Endod J*. 2022;55(5):416-29.
102. Silva EJNL, Pinto KP, Belladonna FG, Ferreira CMA, Versiani MA, De-Deus G. Success rate of permanent teeth pulpotomy using bioactive materials: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Int Endod J*. 2023;56(9):1024-41.
103. Edwards D, Bailey O, Stone SJ, Duncan H. How is carious pulp exposure and symptomatic irreversible pulpitis managed in UK primary dental care? *Int Endod J*. 2021;54(12):2256-75.
104. Mjör IA, Tronstad L. The healing of experimentally induced pulpitis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1 juill 1974;38(1):115-21.
105. Barthel CR, Rosenkranz B, Leuenberg A, Roulet JF. Pulp Capping of Carious

Exposures: Treatment Outcome after 5 and 10 Years: A Retrospective Study. *J Endod.* 1 sept 2000;26(9):525-8.

106. Çiftçi A, Vardarlı DA, Sönmez IŞ. Coronal microleakage of four endodontic temporary restorative materials: An in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 1 oct 2009;108(4):e67-70.

107. Alqaderi H, Lee CT, Borzangy S, Pagonis TC. Coronal pulpotomy for cariously exposed permanent posterior teeth with closed apices: A systematic review and meta-analysis. *J Dent.* 1 janv 2016;44:1-7.

108. Fukuda M, Inamoto K, Shibata N, Ariji Y, Yanashita Y, Kutsuna S, et al. Evaluation of an artificial intelligence system for detecting vertical root fracture on panoramic radiography. *Oral Radiol.* 1 oct 2020;36(4):337-43.

109. Cantu AG, Gehrung S, Krois J, Chaurasia A, Rossi JG, Gaudin R, et al. Detecting caries lesions of different radiographic extension on bitewings using deep learning. *J Dent.* 1 sept 2020;100:103425.

110. Banava S, Fazlyab M, Heshmat H, Mojtahedzadeh F, Motahhary P. Histological Evaluation of Single and Double-visit Direct Pulp Capping with Different Materials on Sound Human Premolars: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Iran Endod J.* 1 janv 2015;10(2):82-8.

111. Hashem DF, Foxton R, Manoharan A, Watson TF, Banerjee A. The physical characteristics of resin composite–calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration. *Dent Mater.* 1 mars 2014;30(3):343-9.

112. Bolhari B, Ashofteh Yazdi K, Abbasi M, Sanjari S, Meraji N, Özcan M. Calcium silicate cement interface with restorative materials through layering after different time intervals. *Odontology.* 1 janv 2021;109(1):210-21.

113. Vire DE. Failure of endodontically treated teeth: Classification and evaluation. *J Endod.* 1 juill 1991;17(7):338-42.

114. Ørstavik D. Time-course and risk analyses of the development and healing of chronic apical periodontitis in man. *Int Endod J.* 1996;29(3):150-5.

115. Tomson PL, Vilela Bastos J, Jacimovic J, Jakovljevic A, Pulikkotil SJ, Nagendrababu V. Effectiveness of pulpotomy compared with root canal treatment in managing non-traumatic pulpitis associated with spontaneous pain: A systematic review and meta-analysis. *Int Endod J.* 2023;56(S3):355-69.

116. Eghbal MJ, Haeri A, Shahravan A, Kazemi A, Moazami F, Mozayeni MA, et al. Postendodontic Pain after Pulpotomy or Root Canal Treatment in Mature Teeth with Carious Pulp Exposure: A Multicenter Randomized Controlled Trial. *Pain Res Manag.* 30 juin 2020;2020:e5853412.

117. Ordonnance n° 2022-1086 du 29 juillet 2022 portant adaptation du droit français au règlement (UE) 2017/746 du Parlement européen et du Conseil du 5 avril 2017 relatif aux dispositifs médicaux de diagnostic in vitro - Légifrance [Internet]. [cité 22 févr 2024]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000046113837>

118. Guide de qualification des recherches en santé. 2021;

119. Inserm [Internet]. [cité 22 févr 2024]. Comité d'évaluation éthique de l'Inserm (CEEI-IRB) · Inserm, La science pour la santé. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/ethique/comite-devaluation-ethique-de-linserm-ceei-irb/>

120. Arrêté du 12 avril 2018 fixant la liste des recherches mentionnées au 3° de l'article L. 1121-1 du code de la santé publique - Légifrance [Internet]. [cité 22 févr 2024]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000043165231/2018-04-18/#LEGITEXT000043165231>
121. Délibération n° 2018-155 du 3 mai 2018 portant homologation de la méthodologie de référence relative aux traitements de données à caractère personnel mis en œuvre dans le cadre des recherches n'impliquant pas la personne humaine, des études et évaluations dans le domaine de la santé (MR-004) - Légifrance [Internet]. [cité 22 févr 2024]. Disponible sur: [https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037187498?init=true&page=1&q=2018-155+du+3+mai+2018+&searchField=ALL&tab\\_selection=all](https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037187498?init=true&page=1&q=2018-155+du+3+mai+2018+&searchField=ALL&tab_selection=all)
122. Goldberg M, Coeuret-Pellicer M, Ribet C, Zins M. Epidemiological studies based on medical and administrative databases: a potential strength in France. *Médecine Sci MS*. 1 avr 2012;28:430-4.
123. Le règlement général sur la protection des données - RGPD [Internet]. [cité 22 févr 2024]. Disponible sur: <https://www.cnil.fr/fr/reglement-europeen-protection-donnees>
124. Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, et abrogeant la directive 95/46/CE (règlement général sur la protection des données) (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE) [Internet]. OJ L avr 27, 2016. Disponible sur: <http://data.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj/fra>
125. Article L1122-1 - Code de la santé publique - Légifrance [Internet]. [cité 28 févr 2024]. Disponible sur: [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000037825788](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000037825788)
126. note-dinformation-riph1-dgs.pdf [Internet]. [cité 22 févr 2024]. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/note-dinformation-riph1-dgs.pdf>
127. Santander D. Document d'aide à la rédaction de protocoles de Recherche Impliquant la Personne Humaine (RIPH) pour solliciter l'avis du Comité de Protection des Personnes (CPP).
128. Wichert S, Juliusson G, Johansson Å, Sonesson E, Teige I, Wickenberg AT, et al. A single-arm, open-label, phase 2 clinical trial evaluating disease response following treatment with BI-505, a human anti-intercellular adhesion molecule-1 monoclonal antibody, in patients with smoldering multiple myeloma. *PloS One*. 2017;12(2):e0171205.

BRION Guillaume - L'usage de la pulpotomie complète en traitement d'urgence de la pulpite aiguë irréversible : élaboration d'un protocole d'étude clinique

**Résumé :**

Cette thèse a pour but d'établir un protocole d'étude clinique prospective longitudinale d'une cohorte à un seul bras, afin d'établir le taux de succès clinique et radiographique de la pulpotomie complète en tant que traitement de la pulpite irréversible au sein d'un service d'urgence de soins dentaire. La pulpotomie est une thérapie de maintien de la vitalité pulpaire traditionnellement employée pour traiter des dents immatures afin de permettre la finalisation de leurs apexifications. La volonté des instances nationales et internationales d'instaurer une pratique dentaire a minima touche également la pratique endodontique. En effet, le traitement d'une dent mature atteinte d'une pulpite irréversible était traditionnellement le traitement endodontique non chirurgical. De récentes études ont mis en évidence la possibilité de la réparation du complexe dentino-pulpaire en cas d'atteinte inflammatoire définie cliniquement comme irréversible. Les mécanismes de défense de l'organe dentaire en cas d'atteinte carieuse vont donc être abordés, afin de comprendre les limites du diagnostic clinique actuel. L'évaluation de la pulpotomie complète comme une alternative de traitement de la pulpectomie va être abordée, ainsi que les facteurs pouvant influencer sa réussite. Après avoir élaboré un protocole clinique à suivre lors des étapes de diagnostic et de thérapeutique, nous allons pouvoir établir un protocole d'étude clinique à mettre en place. Il permettra l'évaluation du taux de succès de la pulpotomie, ainsi que l'évaluation de l'incidences des facteurs pouvant modifier la réussite de la thérapie. Cette étude suivra un protocole d'étude de recherche impliquant la personne humaine non interventionnelle (RIPH 3) sur 4 ans au sein du service des urgences dentaire de l'hôpital Edouard Herriot de Lyon.

**Mots clés :**

Pulpotomie

Pulpite irréversible

Thérapie de maintien de la vitalité pulpaire

Protocole clinique

Étude clinique

Santé publique

**Jury :**

Président : Monsieur le Professeur VILLAT Cyril

Assesseurs : Monsieur le Professeur FARGE Pierre

Monsieur le Docteur YAHYAOUI Sabri

Madame le Docteur GASQUI DE SAINT-JOACHIM

Marie-Agnès

**Adresse de l'auteur :**

brion\_guillaume@yahoo.com

