



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

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

T H E S E
POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le

Par

Léila RACHIDI

Née le 09/12/1995, à Voiron (38)

DIAGNOSTIC DE LA FÊLURE DENTAIRE :
PEUT-ON AVOIR RECOURS A L'IMAGERIE MEDICALE ?

JURY

Monsieur le Professeur Pierre FARGE

Président

Monsieur le Docteur Thomas FORTIN

Assesseur

Madame le Docteur Faouzia BOUSSETTA

Assesseur

Monsieur le Docteur Olivier ROBIN

Assesseur

Madame le Docteur Cheraz TAFROUNT

Assesseur

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

Président de l'Université	M. le Professeur F. FLEURY
Président du Conseil Académique	M. le Professeur H. BEN HADID
Vice-Président du Conseil d'Administration	M. le Professeur D. REVEL
Vice-Président de la Commission Recherche du Conseil académique	M. F. VALLEE
Vice-Président de la Commission Formation Vie Universitaire du Conseil Académique	M. le Professeur P. CHEVALIER

SECTEUR SANTE

Faculté de Médecine Lyon Est	Directeur : M. le Professeur G. RODE
Faculté de Médecine et Maïeutique Lyon-Sud C.BURILLON Charles Mérieux	Directeur : Mme la Professeure
Faculté d'Odontologie	Directrice : Mme. la Professeure D. SEUX
Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques	Directrice : Mme la Professeur C. VINCIGUERRA
Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation	Directeur : M. X. PERROT, Maître de Conférences
Département de Formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine	Directrice : Mme la Professeure A.M. SCHOTT

SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Faculté des Sciences et Technologies	Directeur : M. F. DE MARCHI, Maître de Conférences
UFR des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives	Directeur : M. Y. VANPOULLE, Professeur Agrégé
Institut Universitaire de Technologie Lyon 1	Directeur : M. le Professeur C. VITON
Ecole Polytechnique Universitaire de l'Université Lyon 1	Directeur : M. E. PERRIN
Institut de Science Financière et d'Assurances	Directeur : M. N. LEBOISNE, Maître de Conférences
Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education (ESPE)	Directeur : M. le Professeur A. MOUGNIOTTE
Observatoire de Lyon	Directrice : Mme la Professeure I. DANIEL
Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique	Directeur : M. G. PIGNAULT

FACULTE D'ODONTOLOGIE DE LYON

Doyenne : Mme Dominique SEUX, Professeure des Universités

Vices-Doyens : M. Jean-Christophe MAURIN, Professeur des Universités
Mme Béatrice THIVICHON-PRINCE

Sous-section 56-01 : Odontologie pédiatrique et Orthopédie Dento-Faciale

Professeur des Universités : M. Jean-Jacques MORRIER

Maître de Conférences : Mme Sarah GEBEILE-CHAUTY, Mme Claire PERNIER,
Mme Béatrice THIVICHON-PRINCE

Maître de Conférences Associée : Mme Christine KHOURY

Sous-section 56-02 : Prévention - Epidémiologie

Economie de la Santé - Odontologie Légale

Professeur des Universités : M. Denis BOURGEOIS

Maître de Conférences : M. Bruno COMTE

Maître de Conférences Associé : M. Laurent LAFOREST

Sous-section 57-01 : chirurgie orale – Parodontologie – biologie orale

Professeur des Universités : M. J. Christophe FARGES, Mme Kerstin GRITSCH

Maîtres de Conférences : Mme Anne-Gaëlle CHAUX-BODARD, M. Thomas FORTIN,
M. Arnaud LAFON, M. François VIRARD

Maître de Conférences Associé : M. BEKHOUCHE Mourad

Sous-section 58-01 : dentisterie restauratrice, endodontie, prothèse, fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux

Professeurs des Universités : M. Pierre FARGE, Mme Brigitte GROSGOGEAT,

M. Jean-Christophe MAURIN, Mme Catherine MILLET, M. Olivier ROBIN, Mme Dominique SEUX, M. Cyril VILLAT

Maîtres de Conférences : M. Maxime DUCRET, M. Patrick EXBRAYAT, M. Christophe JEANNIN,

M. Renaud NOHARET, M. Thierry SELLI, Mme Sophie VEYRE-GOULET, M. Stéphane VIENNOT, M. Gilbert VIGUIE,

Maîtres de Conférences Associés : M. Hazem ABOUELLEIL,

SECTION 87 : SCIENCES BIOLOGIQUES FONDAMENTALES ET CLINIQUES

Maître de Conférences : Mme Florence CARROUEL

A Monsieur le Professeur 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

Je vous remercie de me faire l'honneur de présider ce jury et de juger mon travail. L'attention que vous avez portée à mon égard et votre pédagogie au cours de cette sixième année m'ont été grandement bénéfiques. Veuillez trouver ici l'expression de mon respect et de ma profonde estime.

A Monsieur le Docteur FORTIN Thomas

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

Praticien-Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Grenoble

Responsable de la sous-section Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique

Habilité à Diriger des Recherches

Cette thèse qui concerne l'imagerie médicale est pour moi l'occasion de vous exprimer mes remerciements pour la qualité de votre enseignement. J'ai été sensible à vos conseils avisés, votre connaissance élevée en la matière, ainsi que votre implication au centre de soins pour la bonne formation des étudiants. Veuillez agréer l'expression de mon profond respect.

A Madame le Docteur BOUSSETTA Faouzia

Docteur en chirurgie dentaire

Endodontiste exclusive

Ancienne assistante hospitalo-universitaire

Attachée hospitalo-universitaire

En charge des cours d'Endodontie à la Faculté d'Odontologie de Lyon

Membre permanent de la Société Française d'Endodontie

Je vous remercie de m'avoir ouvert les portes de votre cabinet avec grande générosité, qui n'a fait qu'accroître mon intérêt pour l'endodontie de haut niveau. Mais je vous remercie également pour tout l'investissement que vous avez mis dans ce travail de thèse, les brillantes intuitions que vous m'avez fait partagé, et ce, avec beaucoup de sympathie. Veuillez recevoir l'expression de ma sincère reconnaissance.

A Monsieur le Professeur ROBIN Olivier

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

Praticien-Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur d'Etat en Odontologie

Doyen Honoraire de l'UFR d'Odontologie de Lyon

Habilité à Diriger des Recherches

Responsable de la sous-section « Biomatériaux, Sciences Anatomiques et Physiologiques,

Occlusodontiques, Biophysique et Radiologie »

Je vous remercie pour pour votre gentillesse et votre patience à l'égard des étudiants, ainsi que pour l'intérêt que vous portez à la bonne transmission du savoir à la faculté. Je vous exprime ma gratitude d'avoir accepté de juger de mon travail.

A Madame le Docteur TAFROUNT Cheraz

Assistant hospitalo-universitaire au CSERD de Lyon

Docteur en Chirurgie Dentaire

Je vous remercie pour votre écoute et votre accompagnement bienveillant toujours dans la bonne humeur et dès mes premiers pas au centre de soins, votre implication pour le service d'odontologie conservatrice et endodontie, qui m'ont fait aimer cette discipline. C'est avec joie que je vous compte parmi les membres de ce jury.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

I. LA FELURE DENTAIRE : GENERALITES	13
I.1. Définition de la fêlure dentaire	13
I.2. Classifications de la fêlure dentaire	13
I.3. Etiologie de la fêlure dentaire.....	14
I.4. Prévalence et Epidémiologie	15
II. COMPLEXITE DU DIAGNOSTIC DE LA FELURE DENTAIRE ET MOYENS DISPONIBLES	16
II.1. Intérêt de la connaissance du diagnostic pour l'adaptation du traitement.....	16
1) Dent fêlée pulpée	16
2) Dent fêlée dépulpée	17
II.2. Symptomatologie diverse de la fêlure dentaire	19
II.3. Moyens de diagnostic clinique disponibles.....	19
1) Recherche de facteur de risque	19
2) Recherche de signes endo-parodontaux.....	20
3) Visualisation	22
III. IMAGERIE MEDICALE : PERTINENCE DANS LE DIAGNOSTIC DE LA FELURE DENTAIRE :	23
III.1. L'imagerie comme moyen de diagnostic	23
1) Historique et rappel sur le rôle de l'imagerie en odontologie	23
2) Difficultés rencontrées face à la fêlure dentaire	24
III.2. Risque conséquents à l'imagerie médicale en odontologie	25
1) Rappel sur les effets nocifs des rayons X	25
2) Moyens d'imagerie sans risque	26
III.3. Optimisation et justification des rayonnements	26
1) Optimisation	26
2) Justification.....	26
3) Obligation d'interprétation	26
III.4. Préconisation française de l'utilisation de l'imagerie ionisante en Endodontie - Recommandations de la HAS	27
III.5. Préconisation internationale de l'utilisation de l'imagerie ionisante en endodontie - Recommandations de l'AAE sur l'utilisation du CBCT.....	27
IV. INDICATIONS ET LIMITES DES DIFFERENTS TYPES D'IMAGERIE	28
IV.1. Radiologie conventionnelle	28
1) L'orthopantomogramme ou panoramique dentaire	28
2) La radiographie rétroalvéolaire.....	30
IV.2. L'Imagerie 3D : le CBCT	31
1) Précision de résolution inadéquate pour la détection des fêlures	32
2) Le cas de la fracture verticale radiculaire	32
3) Objectivation des lésions endo-parodontales, visualisation de l'os environnant	33
4) Objectivation des diagnostics différentiels	33
5) Les facteurs dont dépend la précision du CBCT dans la détection des fêlures	33
6) Une place de plus en plus importante du CBCT dans notre pratique	35
IV.3. La tomographie à cohérence optique	35
1) Historique	35
2) Principe	36
3) Des atouts favorable à la détection de fêlure	37
4) Limites à l'utilisation de la TCO	39

5) Une technique d'imagerie innovante au fort potentiel	40
IV.4. Autres techniques d'imagerie	41
1) Les ultrasons	41
2) La Digital subtraction radiography	41
3) L'utilisation de produit de contraste lors de CBCT : Meglumine Diatrizate	41
4) La lumière polarisée	41
5) L'IRM	42
V. QUELLE ATTITUDE ADOPTER FACE A UNE SUSPICION DE FELURE DENTAIRE ? PROPOSITION DE PROTOCOLE ET PERSPECTIVES	42
V.1. Diagnostic préventif de fêlure dentaire	42
V.2. Proposition de protocole de diagnostic de la fêlure	43
1) Anamnèse et examen clinique global	44
2) Dans le cas d'une dent pulpée :	45
3) Dans le cas d'une dent dépulpée (suspicion de fêlure coronaire)	46
4) Dans le cas d'une dent dépulpée (suspicion de fêlure radiculaire).....	47
V.3. Adapter son traitement au diagnostic.....	48
1) Dans le cas d'une dent pulpée.....	49
2) Dans le cas d'une dent dépulpée (suspicion de fêlure coronaire).....	49
3) Dans le cas d'une dent dépulpée (suspicion de fêlure radiculaire).....	50

INTRODUCTION

Le chirurgien-dentiste est confronté quotidiennement à des pathologies dentaires impactant la conservabilité de la vitalité pulpaire et la conservation de la dent sur l'arcade.

Il se doit donc d'établir un diagnostic précis, avec le recueil de critères cliniques, et souvent radiologiques afin de déterminer correctement le pronostic de la dent. Il adaptera alors son traitement, pour offrir au patient la meilleure solution à long terme, dans le respect des données acquises de la science.

Mais il peut se heurter à des pathologies dont le diagnostic n'est pas évident : c'est le cas de la fêlure dentaire, une pathologie dentaire qui se veut de plus en plus fréquente. Celle-ci se présente sous de multiples formes conduisant à un pronostic extrêmement variable.

Nous sommes donc amenés à nous interroger sur la conduite à tenir face à une suspicion de fêlure dentaire qui, aujourd'hui encore, reste non protocolée. Il faut définir les éléments à rechercher et analyser, et par quels moyens. A ce propos, une question se pose souvent concernant la légitimité d'un examen d'imagerie médicale pour le diagnostic de fêlure. D'une part, il est avancé par la majorité des praticiens qu'on ne peut pas observer un trait de fêlure sur un examen radiographique, d'autre part il est à prendre compte la justification d'un tel examen.

Nous tenterons donc de déterminer si le recours à l'imagerie médicale est pertinent lors du diagnostic de la fêlure dentaire.

Après quelques rappels, nous étudierons la complexité de cette pathologie ainsi que les moyens de diagnostics cliniques actuels permettant de suspecter une fêlure.

Nous aborderons ensuite les différentes techniques d'imagerie disponibles aujourd'hui pour compléter ce diagnostic. Dans quelles mesures ces dernières nous offrent-elles plus d'information, d'exactitude que les méthodes cliniques, notamment avec les dernières innovations comme la tomographie à cohérence optique ?

Enfin, nous discuterons d'une logique de protocole à suivre face à une suspicion de fêlure dentaire.

I. LA FÊLURE DENTAIRE : GENERALITES

I.1. Définition de la fêlure dentaire

La fêlure dentaire correspond à une fracture incomplète de la dent sans mobilité des fragments, d'une profondeur variable et pouvant progresser jusqu'à la pulpe et/ou le ligament parodontal [1]. Gibbs la décrit pour la première fois en 1954 sous le nom d' « odontalgie de la fracture cuspidienne ». Elle est connue également sous le terme de « fissure dentaire ». En anglais, on la retrouvera sous le nom de « *tooth crack* », ou « *Cracked Tooth Syndrome* » ou encore « *incomplete fracture of posterior teeth* ». Elle peut être présente pour une dent pulpée ou dépulpée. La ligne de fêlure a une largeur souvent inférieure à 0,08 mm [2], ce qui est difficile à percevoir, étant donné que l'oeil humain ne peut percevoir au minimum qu'un objet de 0,05 mm.



Fig. 1 : Les différents types de fêlures dentaires [3]

I.2. Classifications de la fêlure dentaire

Il existe plusieurs types de fêlures dentaires, dépendant de leur étendue à travers les différentes couches anatomiques de la dent. Ainsi selon la Société Odontologique de Paris (Martin et Machtou, 2008) on distingue :

- La fêlure de l'émail (« *craze lines* ») :

Uniquement présente dans l'émail comme son nom l'indique. Elle est retrouvée souvent au croisement des crêtes marginales, étendues sur les surfaces vestibulaires ou linguales. Les fêlures de l'émail ne nécessitent pas de prise en charge car il n'y a pas d'atteinte pulpaire ou parodontale.

- La fêlure d'une cuspidie :

Cette fêlure à deux composantes : mésio-distale et vestibulo-linguale. Elle traverse la crête marginale pour s'étendre en direction apicale en suivant un sillon vestibulaire ou lingual jusqu'à la

région cervicale. Elle se termine au niveau gingival ou légèrement sous-gingival. Elle n'atteint pas souvent la pulpe [4].

- La fêlure coronaire (« *split tooth* ») :

Elle part de la surface occlusale et prend une orientation apicale, touchant le plus souvent la pulpe. Sa direction est le plus souvent mésio-distale, ce qui explique qu'elle peut toucher deux crêtes marginales. Le résultat de la progression d'une fêlure coronaire est une fracture verticale, avec atteinte systématiques des deux crêtes marginales, et séparation des fragments [5].

- La fêlure radiculaire (« *vertical root fracture* »):

La fêlure radiculaire commence dans la racine selon une orientation le plus souvent vestibulo-linguale. Son étendue débute de l'apex et peut se faire tout au long de la racine, ou rester limitée à n'importe quel niveau. Elle touche une ou plusieurs faces de la racine. On la retrouve plus particulièrement dans les dents dépulpées. La fêlure radiculaire peut conduire à la fracture verticale radiculaire [5].

I.3. Etiologie de la fêlure dentaire

Cette pathologie dentaire est due à des forces, une pression trop importante par rapport à la résistance de la dent, menant à sa fissure. Tout ce qui peut fragiliser la dent, à l'origine donc de ces forces, constitue un facteur de risque de fêlure dentaire [1]:

- Anatomie dentaire :

Ainsi l'anatomie dentaire fait qu'une anatomie en V, comme on le retrouve dans les molaires, sera plus à risque de développer une fêlure. Les fêlures dentaires touchent en majorité les molaires mandibulaires [6,7].

- Parafonctions :

De plus, les parafonctions comme le bruxisme, exerçant des forces intenses et répétitives sur les dents pendant la nuit, sont plus souvent associées à des fêlures dentaires que pour un patient non-bruxomane [8].

- Traumatismes iatrogènes :

C'est aussi l'ensemble des traumatismes iatrogènes qui peuvent mener à la fissure dentaire. La réalisation de restauration, d'ancrage radiculaire, la surinstrumentation (par exemple lors de

l'utilisation de rotation continue) a pour conséquence la fragilisation de la dent en comparaison à une dent saine [9,10]. La réalisation de chirurgie apicale peut en être également la cause.

- Âge :

L'âge sera retenu comme facteur de risque, puisque le vieillissement seul de la dent est une cause de sa fragilisation [11].

- Occlusion :

Enfin, l'occlusion est essentielle dans la bonne transmission des forces sur les dents ; un dysfonctionnement de l'occlusion peut tout à fait être à l'origine de la fêlure.

- Présence de *piercing* :

Il semble également que de micro-traumas dus à la présence de piercing en bouche soit plus à risque de fêlure dentaire.

I.4. Prévalence et Epidémiologie

Le taux d'incidence est peu précis, entre 34 et 74 %, en particulier chez les personnes âgées de 30 à 50 ans, et retrouvée plus fréquemment chez les femmes [1].

La prévalence de cette pathologie dentaire augmente depuis plusieurs années pour différentes raisons.

Dans un premier temps, l'augmentation de la durée de vie et la persistance des dents sur l'arcade du fait des progrès médicaux en santé générale et en odontologie, l'hygiène dentaire plus développée dans la population contribuent à une augmentation de durée de vie de la dent dans la population. Cela explique la fatigue de l'organe dentaire qui, plus vieux, devient moins résistant aux traumatismes.

D'autre part, la population occidentale a des conditions de vie (travail, organisation de l'emploi du temps, etc) se manifestant par plus de stress. Nous rentrons aussi dans une ère où la drogue apparaît comme un nouvel enjeu médico-social [12]. L'ensemble de ces éléments a pour conséquence somatique des attitudes para-fonctionnelles (tel que le bruxisme), qui entraînent une sollicitation mécanique augmentée de l'organe dentaire.

Enfin, cette prévalence plus élevée s'explique simplement par le fait que la fêlure dentaire est plus facilement diagnostiquée de nos jours, grâce à des moyens de diagnostics plus évolués et une meilleure formation des chirurgiens-dentistes.

De ce fait, il est important pour nous, cliniciens, de bien réaliser l'anamnèse lors de l'interrogatoire médical, afin de repérer ces facteurs de risques qui ne sont pas suffisants à l'établissement du diagnostic, mais qui peuvent nous orienter.

II. COMPLEXITE DU DIAGNOSTIC DE LA FELURE DENTAIRE ET MOYENS DISPONIBLES

II.1. Intérêt de la connaissance du diagnostic pour l'adaptation du traitement

Le but d'un diagnostic est d'identifier la nature et la cause d'une pathologie afin de pouvoir soigner convenablement le patient affecté. Ainsi, pour la fêlure dentaire, se présentant sous des formes diverses, il existe des pronostics différents selon la situation clinique, et de ce fait, des traitements différents. Nous distinguerons deux catégories de dents : la dent vitale et la dent dépulpée. Nous verrons rapidement pour chacune les différents pronostics ainsi que les moyens de traitement.

1) Dent fêlée pulpée

a) Intérêt du diagnostic

Pour la dent fêlée vitale, on cherchera à savoir si la fêlure est strictement amélaire, si elle atteint la pulpe ou est à risque de l'atteindre. Il faut déterminer le diagnostic pulpaire : inflammation pulpaire réversible, irréversible ou nécrose. D'autre part, la présence de poche parodontale en regard conditionne la vitalité pulpaire.

b) Pulpite réversible ou irréversible

Il est important d'insister sur la possibilité de conservation de vitalité pour un cas de fêlure dentaire étant à l'origine d'une pulpite réversible. L'étude menée en 2019 par l'équipe de Siwen Wu a montré l'incidence de complications pulpaires après le diagnostic de fêlure dentaire [13]. Il en ressort que pour 199 dents présentant une fêlure dentaire à l'origine d'une pulpite réversible, 141 d'entre elles (soit 71%) ont conservé leur vitalité à trois ans grâce à un traitement précoce les renforçant en minimisant la flexion de la cuspidé (traitement étiologique) et grâce à des couronnes recouvrant totalement la dent, empêchant la communication de la fêlure avec l'environnement buccal (traitement limitant l'inflammation pulpaire).

En outre, une analyse des caractéristiques des dents fêlées réalisée par l'équipe de Sung-Eun Yang en 2017 montre que les dents présentant une poche parodontale supérieure à 4mm seront significativement plus à risque de nécrose pulpaire [6].

c) Moyens de traitement

Les moyens de traitement consisteront donc à conserver la vitalité pulpaire ou à réaliser le traitement endodontique. Pour une dent fêlée vitale atteinte de manière réversible au niveau pulpaire, il s'agira d'obturer les tubulis dentinaires ouverts à cause de la fêlure ainsi qu'à protéger la dent des bactéries présentes en bouche risquant de s'infiltrer par le trait de fêlure jusqu'à la pulpe, par le moyen de couronnes prothétiques. Si la pulpe dentaire est inflammée de manière irréversible ou déjà en voie de nécrose (ou en présence d'un facteur de risque important de nécrose comme une poche parodontale supérieure à 4 mm), le traitement endodontique sera à envisager [14].

2) Dent fêlée dépulpée

a) Intérêt du diagnostic

Pour une dent dépulpée, le pronostic dépendra plutôt du délabrement coronaire causé par la fêlure (la résistance mécanique restante de la dent), de la communication entre le milieu buccal et l'endodonte voire le parodonte causée par la fêlure, et de la possibilité d'arrêter cette communication. En fonction de ces éléments, nous serons capables de déterminer si la dent peut être conservée sur arcade ou si elle n'a d'autre choix que d'être avulsée. Il est impératif de situer la position de la fêlure, de savoir si elle dépasse la chambre pulpaire et descend apicalement le long du canal, laissant une communication entre la cavité buccale, l'endodonte et le parodonte, si elle atteint directement le plancher pulpaire. On cherchera à évaluer l'étendue apicale de la lésion. S'il y a une communication avec le parodonte, il s'agira de déterminer l'existence et l'étendue de la poche parodontale en regard. D'autre part, on cherchera à savoir si cette fêlure affaiblit considérablement la résistance mécanique de la dent, étant trop à risque d'évolution vers une fracture.

b) Conservabilité de la dent

L'analyse des différents paramètres d'une fêlure comme sa profondeur, sa situation est fondamentale. La présence d'une fêlure ne constitue pas à elle seule un motif de non-conservation de la dent.

C'est le sujet d'une première étude menée par Davis et col. en 2019 portant sur la survie de dents devitalisées et fêlées au niveau radiculaire avec une extension allant jusqu'à 5 mm apicalement à la chambre pulpaire. Les dents fracturées, atteintes au niveau du plancher et limitées à la dentine

coronaire ne faisaient pas partie de l'étude, et il fallait que les dents ne soient pas sujettes à un problème d'occlusion. Les résultats ont montré que pour 70 dents traitées endodontiquement, 96,6% d'entre elles étaient toujours présentes, fonctionnelles, et asymptomatiques à 4 ans. Historiquement les extensions radiculaires étaient considérées comme impossibles à traiter ou à restaurer, alors que l'on peut tout à fait avoir de bons pronostics dès lors que l'on adapte nos traitements [15].

Une autre étude de l'équipe de Krell et Caplan, en 2018, a permis d'identifier les éléments les plus compromettants du traitement de dent fêlée, qui sont :

- l'atteinte des crêtes marginales
- la présence de poche parodontale supérieure à 5 mm
- la présence de lésion péri-apicale.

A partir de cela, ils ont pu créer un index de succès de traitement endodontique orthograde. En l'absence de poche parodontale supérieure à 5mm :

- s'il n'y a ni atteinte des crêtes marginales, ni lésion péri-apicale on obtient 93 % de succès à 2 ans (*stage I*)
- s'il n'y a pas de lésion périapicale mais avec atteinte de la crête marginale on obtient 84% de succès (*stage II*),
- s'il y a atteinte de la crête marginale et lésion périapicale il y a 69% de succès (*stage III*)

En présence d'une poche parodontale supérieure à 5mm on obtient seulement 41% de succès (*stage IV*) [16].

Enfin une étude de 2020 réalisée par l'équipe de Daphne Jack Xin Leong montre que pour une dent dépulpée et dévitalisée, les dents ne possédant qu'une seule fêlure ou des fêlures contenues sous une couronne dentaire présentait moins de risque d'avulsion, alors que les dents présentant une poche parodontale supérieure à 3 mm ou étant un pilier dentaire terminal s'exposaient à plus de risque d'avulsion [17].

c) Moyens de traitement

On cherchera systématiquement à savoir si un retraitement avec recouvrement prothétique, une chirurgie apicale ou l'avulsion de la dent est préférable selon l'étendue et la direction de la fêlure, le nombre de fêlures, la position dentaire, la présence de couronne protectrice, les lésions parodontale et périapicale qu'elle a pu causer, ce qui déterminera les chances de survie de la dent sur arcade [14, 15, 17,18 ,19].

Nous serons donc non seulement amenés à savoir reconnaître une fêlure d'une dent vivante ou dévitalisée, mais également à évaluer pour chaque cas plusieurs paramètres permettant d'évaluer au mieux le pronostic de la dent et adapter le traitement.

II.2. Symptomatologie diverse de la fêlure dentaire

La fêlure dentaire a la particularité de présenter des symptômes différents selon sa forme, qui sont à identifier lors de l'interrogatoire médical. La dent fêlée peut ainsi :

- ne pas présenter de symptôme (cas systématique pour les fêlures amélaire, et possible pour les autres types de fêlures),
- être sensible de manière intense et furtive au froid (cela dépendra du niveau d'atteinte pulpaire pour une dent pulpée),
- être sensible à la mastication (cas fréquent de la fêlure cuspidienne, coronaire, radiculaire, verticale),
- être nécrosée sans raison objectivable (pas de lésion carieuse, antécédent de trauma, etc) [3].

Selon une étude menée par l'équipe de Hilton en 2018, 45 % de dents fêlées sont symptomatiques. 65% des dents symptomatiques (soit la majorité) ne présentent qu'un seul symptôme.

Pour 37%, la douleur est due au froid.

On compte seulement 16% de dents fêlées douloureuses à la mastication, et 11% douloureuses spontanément [20].

Les associations de différents symptômes sont plus fréquentes pour les fêlures concernant [20] : les molaires, en occlusion, avec une facette d'usure au niveau de l'émail, en présence de carie, qui vont dans plusieurs directions, qui bloquent la transillumination, qui sont connectées à une autre fêlure, qui sont étendues à une racine, dont la présence est évidente à la radiographie, qui vont dans plusieurs directions, qui se trouvent sur une face distale.

II.3. Moyens de diagnostic clinique disponibles

Plusieurs modalités diagnostiques sont utilisées lors de l'examen clinique. Le diagnostic différentiel doit être réalisé. Suite à l'interrogatoire médical sur la symptomatologie et les habitudes du patient, nous chercherons en bouche des facteurs de risque, des signes endo-parodontaux via des tests, et enfin la visualisation de la fêlure.

1) Recherche de facteur de risque

- Inspection exobuccale :

Une hypertrophie des muscles masticateurs est recherchée chez le patient bruxomane, si le patient n'en a pas connaissance [21].

- Analyse occlusale :

Lorsque l'hypothèse d'une fêlure dentaire est émise, il faut rechercher comment la dent a pu être fragilisée. Il est donc important d'analyser les forces supportées par la dent. Cela consistera à observer le positionnement de la dent dans le plan d'occlusion, évaluer les courbes de Spee, Wilson et sphère de Monson afin de savoir si elle a subi une transmission anormale des forces conduisant à sa fissure [7].

La présence d'édentement doit également être observée, conduisant à la transmission des forces aux dents avoisinantes. De plus, la présence d'attrition des dents ou de dysfonctionnement des articulations temporo-mandibulaires peut signer le grincement des dents par le patient qu'on qualifiera de « bruxomane ».

- Présence de restauration, de tenon radiculaire :

Comme vu précédemment, la dent sera plus facilement fragilisée par la présence d'un tenon, d'une restauration en amalgame. Cela peut être à cause de la préparation qui est délabrante pour la dent ou du matériau de restauration dont la transmission des forces n'est pas équilibrée avec les couches naturelles de la dent qu'il recouvre. Selon l'étude Sung-Eun Yang (2017), pour les dents restaurées, les fêlures apparaissent principalement pour des restaurations en or (26,9%) suivi des restaurations en amalgame (14,3%) et enfin des restaurations en résine (11,5%) [6].

- Présence de fêlure amélaire externe :

Selon une étude menée par Ferracane et col. en 2018, pour 10 dents présentant une fêlure externe, 9 d'entre elles ont une fêlure interne associée. Ainsi une fêlure externe peut paraître non à risque mais elle doit attirer notre attention car pouvant suggérer la présence d'une fêlure plus à risque d'altérer le pronostic de la dent [22].

Les diagnostics différentiels peuvent être une hyperocclusion (la dent ne sera plus douloureuse après correction) ou encore une douleur due au « *micro-leakage* » après la pose récente de restauration résine (se renseigner de quand date la restauration) [1].

2) Recherche de signes endo-parodontaux

a) Test de sensibilité pulpaire

Selon la profondeur de la fêlure, celle-ci peut ou ne pas venir irriter la pulpe. Il est possible d'effectuer un test de sensibilité pulpaire pour constater une vitalité anormale, en comparaison à une dent témoin. On utilisera le plus souvent un spray réfrigérant à base de composés chimiques (le

plus souvent : le dichlorofluorométhane) pulvérisé sur une boulette de coton et mise en contact avec la dent. On pourra de cette façon détecter une inflammation pulpaire (37% de dents symptomatiques au froid [20]) ou une nécrose [23].

b) Test de morsure

La fêlure dentaire peut être à l'origine de douleur à la mastication, au moment du relâchement. Un test de morsure peut être effectué pour détecter ce signe : le patient mord au niveau de la dent suspectée, et on cherchera à savoir si le relâchement provoque une douleur vive chez le patient. Plusieurs méthodes sont possibles : avec un coton salivaire mouillé, ou avec le « *Tooth Slooth* ». Selon l'étude de Yaping Yang et col. (2019), le *Tooth Slooth* serait significativement plus efficace que le coton salivaire pour détecter une dent fêlée (Pour 46 dents confirmées comme étant fêlées, 91,3 % répondaient au test du *Tooth Slooth* contre seulement 32,6 % avec le coton salivaire) [24, 25].



Fig. 2 - oceanmicroendodontics.com et Fig 3: Le *Tooth Slooth*. Permet de s'appuyer précisément sur chaque cuspide d'une molaire, pour détecter le positionnement d'une fêlure [26].

c) Test parodontal

Le sondage parodontal systématique permet de mettre en évidence une perte d'attache bien localisée à une seule face de la dent, qui signerait la présence d'une communication de bactéries entre la cavité buccale et la zone et par conséquent une fêlure. Selon l'analyse des caractéristiques dents fêlées démontrée par l'équipe de Sung-Eun Yang : pour 103 dents, 56,6% présentaient des poches parodontales inférieures à 3 mm, 22% des poches allant de 4 à 6 mm, 21,4% des poches parodontales de 7mm et plus [6]. Nous avons vu précédemment l'impact de l'extension de ces poches sur le pronostic.

Les diagnostics différentiels peuvent être une lésion carieuse (sondage minutieux à effectuer), une lésion cervicale d'usure, une pulpite d'origine carieuse ou macrotraumatique (douleur très intense au froid), une fracture (test de morsure douloureux lors de l'appui et non du relâchement, mobilité du morceau fracturé), une PAA ou un AAA (test de percussion positif pour la PAA ; et test de percussion et de palpation positifs pour l'AAA) d'origine carieuse, traumatique ou infectieuse (traitement endodontique non étanche, matériau d'obturation dépassant, perforation), un syndrome du septum (douleur intense lors du passage de la sonde en interdentaire), un abcès parodontal (abcès au niveau du collet, pathologie purement parodontal et non une perte d'attache en un point) [1].

3) Visualisation

a) Microscope optique et exploration chirurgicale

Il est courant lors de la suspicion d'une fêlure d'explorer de façon chirurgicale la dent. C'est notamment le cas pour les dents dépulpées, par exemple pour une dent devitalisée et traitée pour laquelle une lésion persiste. Il sera fortement conseillé de travailler sous aides optiques, par exemple à l'aide du microscope optique, afin d'observer ce qui peut s'apparenter à une fêlure.

b) Test de transillumination

Le test de transillumination consiste à faire passer un faisceau lumineux au travers de la dent, réalisé à l'aide d'une fibre optique que l'on porte directement sur la dent séchée, nous permettant ainsi de déceler une différence de réflexion de la lumière. En effet, la présence d'une fêlure dentaire se présente comme un plan de clivage dans la dent bloquant la transmission lumineuse [4].

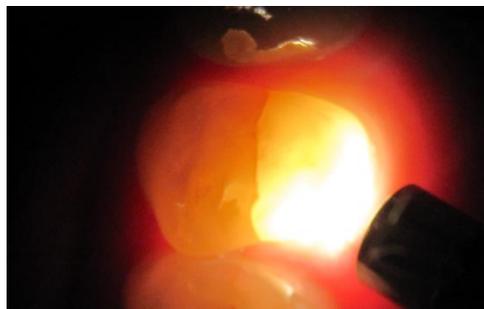


Fig. 3 - *idweblogs.com* : transillumination d'une prémolaire avec présence du plan de clivage

c) Test au bleu de Méthylène

Enfin il est possible, le plus souvent pour une dent dépulpée et lors de l'exploration chirurgicale, de colorer la dent au Bleu de Méthylène puis de rincer à l'Hypochlorite de Sodium 2,4 %, dévoilant s'il existe un trait de fêlure coloré en bleu. Une étude menée par Wright Jr et col. en 2004 a montré l'identification de fêlure dentinaire au niveau de dents réséquées apicalement : l'association coloration au bleu de méthylène et de transillumination permet de déceler les fêlures dans 82% des cas [27].

Un diagnostic différentiel peut être la visualisation d'une coloration du plancher pulpaire lors de l'examen sous microscope, d'où l'utilisation du bleu de méthylène pour les différencier des fêlures.

L'ensemble des méthodes décrites nous apporte des informations sur la présence ou non d'une fêlure dentaire. On verra qu'il nous sera utile de combiner ces différents tests pour s'assurer du bon diagnostic. Se pose alors la question de l'utilisation de moyens complémentaires pour aider le clinicien dans son diagnostic : l'imagerie médicale peut-elle nous apporter plus de précision, et cela à quel prix ?

III. IMAGERIE MEDICALE : PERTINENCE DANS LE DIAGNOSTIC DE LA FELURE DENTAIRE :

III.1. L'imagerie comme moyen de diagnostic

1) Historique et rappel sur le rôle de l'imagerie en odontologie

Suite à l'invention des Rayons X par Röntgen en 1895, est apparue la première image dentaire en Janvier 1896 par le chirurgien-dentiste allemand Otto Walkhoff. Il s'en est suivi un perfectionnement des méthodes d'imagerie au cours de la seconde moitié du XXème siècle.

D'une image 2D (radiographie rétro-alvéolaire ; panoramique dentaire) correspondant à une reproduction plan d'un volume par superposition des structures anatomiques, nous sommes arrivés à obtenir des images 3D (CBCT ; scanner). Des méthodes alternatives à l'utilisation de rayons X commencent également à se développer, bien qu'elles ne soient pas encore aujourd'hui commercialisées auprès des chirurgiens-dentistes.

En odontologie, l'imagerie a des utilisations multiples et représente notamment un outil essentiel de diagnostic, reconnu comme le principal examen complémentaire utilisé par les praticiens, en nous

offrant la possibilité d'exploration des tissus sans geste chirurgical. Elle nous permet de compléter notre examen clinique, obtenir des informations sur l'état des tissus internes [28].

On peut donc se demander si le recours à l'imagerie pour aider à détecter les fêlures dentaires et leur extension, ainsi que l'atteinte des tissus environnants déterminant le pronostic de la dent.

2) Difficultés rencontrées face à la fêlure dentaire

a) Une largeur microscopique

Le problème de la fêlure dentaire, réside dans le fait qu'elle est de très fine largeur, souvent inférieure à 0,08 mm et prend une valeur variable [29]. Ce sera donc la résolution de l'image qui permettra ou non de détecter des structures fines. En effet, pour réaliser une image, on explore une partie de l'espace, ce qu'on appellera le « champ de vue » (« *field of view* »).

Pour ce qui est de l'imagerie ionisante, ce volume analysé est partagé en voxel (« *volume element* »). La radiographie permet d'obtenir les mesures des signaux physiques (l'atténuation par le corps analysé des rayons envoyés) de chaque voxel, qui sera rendu sous forme de pixel (« *picture element* »).

Ainsi, si la fêlure dentaire est plus fine que la taille du voxel, le signe physique qui sera envoyé sera une moyenne avec l'environnement proche de la fêlure. Par conséquent le pixel obtenu ne correspondra pas à l'atténuation seule de la fêlure, mais de la fêlure et de son environnement proche, ne permettant pas de la déceler correctement. Comme il est expliqué dans le manuel d'imagerie médicale écrit par E Blondiaux et col. : pour les structures plus petites que ce que permet de voir la résolution spatiale ; la structure ne sera pas visible ; ou sera visible mais floue ; ou sera visible mais avec un signal incorrect par moyennage avec les structures qui l'entourent : effet de volume partiel [30].

Pour ce qui est de l'imagerie 3D, celle-ci repose sur l'assemblage d'images 2D et peut donc se heurter au même problème.

Cependant d'autres types d'imagerie, comme la tomographie à cohérence optique, peuvent présenter une meilleure résolution spatiale en utilisant d'autres moyens que les rayons X, d'où l'intérêt de s'orienter vers ces autres techniques comme nous le verrons par la suite.

b) Orientation de la fêlure

La fêlure dentaire prend souvent une orientation mésiodistale lorsqu'il s'agit d'une fêlure coronaire. Elle ne sera donc pas distinguée lors d'une vue vestibulaire.

c) Nécessité du diagnostic précoce des lésions conséquentes à la fêlure

Nous avons vu que le pronostic de la dent dépendait de la présence de lésion péri-apicale, de lésion parodontale latérale et en particulier de l'étendue de ces dernières. Ainsi les moyens d'imagerie

doivent permettre de diagnostiquer ces lésions le plus rapidement possible, afin de ne pas compromettre le pronostic de la dent.

d) Extension de la fêlure

Enfin, nous avons rappelé que l'extension de la fêlure au niveau radiculaire pour les dents non vitales avait un impact sur le taux de succès du traitement endodontique. Il faudrait que l'imagerie nous permette de mesurer l'extension radiculaire de la fêlure pour pouvoir évaluer les chances de succès thérapeutique.

III.2. Risques conséquents à l'imagerie médicale en odontologie

1) Rappel sur les effets nocifs des rayons X

Certaines formes d'imagerie médicale comme la radiographie, le scanner, le CBCT, requièrent l'utilisation de rayonnements ionisants (Rayons X), c'est à dire que les rayons émis par l'appareil sont d'énergies suffisantes pour transformer les atomes du tissu observé en ions, à l'origine donc de leur instabilité. Ces nouveaux ions vont chercher à se stabiliser en émettant à leur tour un rayonnement pouvant avoir des effets à court ou long terme sur l'organisme.

Ces effets dépendront de la zone irradiée et de la dose reçue.

- Effets déterministes :

Les effets courts sont nommés déterministes et ne surviennent qu'à partir de 100 mSv de dose efficace. Selon les données du rapport de la HAS [31], les doses efficaces délivrées en radiologie dentaire sont de 1 à 8 microSv pour un cliché intra-buccal, 4 à 30 pour un cliché panoramique et au maximum 550 pour un CBCT. L'ensemble de ces valeurs sont très largement inférieures au seuil, par conséquent ces effets déterministes peuvent très difficilement avoir lieu dans le cadre d'une pratique en odontostomatologie.

- Effets stochastiques :

Pour ce qui est des effets à long terme, les effets dits stochastiques peuvent survenir dès la plus faible dose et ne sont pas proportionnels à celle-ci. Ces effets à long terme sont impossibles à mesurer, on sait simplement que la probabilité de survenue augmente avec la dose reçue.

L'ensemble de ces informations doit être bien expliqué au patient, qui a souvent peu de connaissance en matière d'irradiation mais beaucoup d'inquiétudes, afin qu'il comprenne au mieux le bénéfice que peut apporter un examen radiographique par rapport au minime risque d'effets indésirables qu'il peut contracter. Nous devons obtenir le consentement verbal du patient [32].

2) Moyens d'imagerie sans risque

D'autre part, certaines formes d'imagerie ne présentent pas d'irradiation ionisante, et ne présentent donc pas ces risques (IRM, tomographie à cohérence optique). Il est donc également nécessaire de bien préciser au patient quel type d'examen nous allons réaliser, si celui-ci est ionisant ou non.

III.3. Optimisation et justification des rayonnements

1) Justification

Malgré ces faibles doses délivrées par l'imagerie irradiante ionisante pour son application en odontologie, nous sommes tenus par la loi de respecter le principe ALARA (« *as low as reasonably achievable* »). Chaque chirurgien-dentiste a le devoir de justification d'un examen dentaire. Selon le code de santé publique, elle est définie comme « la confirmation argumentée de l'indication clinique et du choix de la technique d'imagerie » [32]. Il faut que ce bénéfice soit supérieur au risque induit par les irradiations (balance bénéfice/risque). Si le risque est faible du fait de la faible dose reçue, le bénéfice reste à définir quant à la recherche radiographique de fêlure. Nous verrons par la suite si un examen radiographique est justifié pour une telle recherche.

2) Optimisation

D'autre part, nous devons optimiser nos examens radiographiques, c'est à dire minimiser la dose, la maintenir au plus bas niveau qu'on peut raisonnablement atteindre tout en obtenant les résultats voulus.

Là encore, le chirurgien-dentiste ne doit pas manquer d'adapter au mieux les paramètres pour obtenir une image plus précise pour la même dose reçue (Par exemple, le champ de vue ou la résolution de l'image n'est pas la même pour une image en vue de pose d'implant ou de recherche de pathologie endodontique).

3) Obligation d'interprétation

Enfin, il est important de rappeler que tout praticien pratiquant un examen radiologique doit être capable de l'interpréter. Cela converge avec le principe de justification : il n'y a aucune raison valable pour irradier une zone que l'on ne sait pas analyser.

Pour ce qui est de l'imagerie non irradiante, elle n'est pas concernée par ces mesures d'optimisation et de justification.

III.4. Préconisation française de l'utilisation de l'imagerie ionisante en Endodontie - Recommandations de la HAS

Selon le rapport d'évaluation technologique de 2009 de la HAS, la radiologie conventionnelle doit être l'imagerie de première intention. « L'imagerie CBCT en endodontie peut présenter un intérêt dans certains cas bien sélectionnés, lorsque les informations fournies par la clinique et la radiologie conventionnelle ne sont pas suffisamment contributives au diagnostic et qu'une image tridimensionnelle est indispensable ». Entre autre est cité le cas du bilan d'une pathologie radiculaire. De plus « Le recours à l'imagerie CBCT ne saurait se justifier s'il n'améliore pas dans ces cas précis la prise en charge et le pronostic de la dent. Le groupe de travail précise que l'examen, pour l'exploration endodontique, exige une précision et une définition nécessitant une forte résolution spatiale. » [31].

Le code de la santé publique rapporte la même idée : « Si les examens radiographiques conventionnels ne permettent pas d'analyser l'intégrité et la complexité des rapports existant entre différents éléments anatomiques ou entre une pathologie et les organes voisins, un examen d'imagerie sectionnelle peut être réalisé » [32].

D'autre part, il est indiqué dans le rapport « Assurance de la qualité en imagerie médicale mettant en œuvre des rayonnements ionisants » de Philippe ROCHER (2019) que « Une TVFC de volume limité et de haute résolution peut être indiquée pour l'évaluation rétroalvéolaire, dans certains cas, lorsque les radiographies conventionnelles ne mettent rien en évidence en contradiction avec les symptômes et l'examen clinique. » [33].

En conclusion, les préconisations françaises recommandent le recours au CBCT que lorsque la radiologie conventionnelle seule n'a pas permis d'établir le diagnostic, et à condition d'être utilisé avec un volume limité (field of view) et une haute résolution dans le cas de recherche de pathologie endodontique comme le sont les fêlures dentaires.

III.5. Préconisation internationale de l'utilisation de l'imagerie ionisante en endodontie - Recommandations de l'AAE sur l'utilisation du CBCT

Pour ce qui est des préconisations internationales, l'AAE (American Association of Endodontists) a énoncé en 2015/2016 une prise de position commune au sujet de l'indication de l'utilisation du CBCT en pratique endodontique [34]. Il en ressort qu'il n'est aucunement justifié

d'utiliser le CBCT comme moyen de diagnostic endodontique de routine en l'absence de signe clinique et de symptômes, et qu'on ne doit y avoir recours que lorsque l'Imagerie 2D n'a pas suffi.

Concernant le champ de vue (*field of view*/ volume d'intérêt exposé), celui-ci ne devrait excéder que très légèrement les dimensions du site d'intérêt. En effet, plus le champ de vue est petit, plus la dose irradiante sera faible. D'autre part, un petit champ de vue est associé à une résolution spatiale plus importante, car plus le voxel est petit et plus la résolution spatiale est grande. Ainsi l'utilisation d'un petit champ de vue respecte le principe d'optimisation.

Selon l'AAE, le CBCT de petit champ de vue devrait être l'examen radiologique de choix pour le diagnostic lorsque le patient présente des signes cliniques et symptômes contradictoires associés à une dent non traitée ou déjà traitée endodontiquement. Ils rappellent que le CBCT permet de détecter des pathologies périapicales avant qu'elles ne soient apparentes sur les radiographies 2D.

Ainsi les préconisations internationales diffèrent légèrement des françaises, dans le sens que le choix de réaliser un examen CBCT repose sur l'échec de résultats avec la radiologie conventionnelle pour les préconisations françaises, tandis que selon l'AAE il est justifié dès la présence de signe clinique et de symptôme contradictoires. En revanche les deux se rejoignent sur l'idée que l'examen CBCT dans la pratique endodontique est justifié si réalisé avec un petit champ et une haute résolution.

L'AAE termine son rapport en concluant qu'il revient au chirurgien-dentiste de savoir traiter au cas par cas.

Le prochain chapitre traitera des différentes formes d'imagerie et de l'utilisation qu'on peut en faire, en présentant pour chacun les avantages et limites qu'ils présentent.

IV. INDICATIONS ET LIMITES DES DIFFERENTS TYPES D'IMAGERIE

IV.1. Radiologie conventionnelle

Il s'agit de la radiographie rétroalvéolaire et de l'orthopantomogramme (radiographie panoramique).

1) L'orthopantomogramme ou panoramique dentaire

L'orthopantomogramme est souvent réalisé chez un nouveau patient après examen clinique et présence de signes cliniques, donc souvent contenu dans le dossier du patient. Nous obtiendrons des informations pour notre analyse occlusale, l'environnement de la dent en question.

a) Environnement de la dent

Par exemple la mise en évidence d'une dent hors du plan d'occlusion (version, égression, dent adjacente absente). Ainsi on observera si la dent est plus à risque d'être fragilisée.

b) Détection de dysfonctionnements de l'ATM, de parafunctions

D'autre part, la panoramique dentaire peut nous permettre de détecter des parafunctions comme le bruxisme, car elle nous montre l'état des articulations temporomandibulaires, dont un dysfonctionnement peut être une cause de cette dernière parafunction. Elle peut parfois faire état de l'attrition des dents d'un patient bruxomane. Ceci nous permettra de détecter des facteurs de risque de fêlure, en complément d'une analyse du plan d'occlusion lors de l'examen clinique. En effet l'analyse des courbes de Spee, de la courbe de Wilson et de la sphère de Monson ne peut pas être observées correctement sur l'orthopantomogramme car cette technique est soumise à un facteur d'agrandissement inconstant.

c) Etat parodontal général

Enfin en nous procurant l'image des os maxillaire et mandibulaire l'orthopantomogramme nous permet de déceler l'état parodontal général du patient, qui peut orienter le diagnostic (diagnostic différentiel de la fêlure dentaire : parodontopathies).



Fig. 5 – <https://www.information-dentaire.fr/formations/cas-de-bruxisme/>: Panoramique dentaire mettant en évidence une anomalie morphologique du condyle gauche



Fig. 6 -<https://www.imageriecaladoise.fr/imagerie-dentaire> *Panoramique dentaire mettant en évidence la version dentaire de 48*

2) La radiographie rétroalvéolaire

La radiographie rétroalvéolaire nous permettra de voir ce qui est circonscrit à la dent et une ou deux dents adjacentes. Elle constitue le premier examen complémentaire à envisager en cas de suspicion de pathologie dentaire, à corroborer avec l'examen clinique.

a) Présence de restauration

Ainsi pour ce qui est de la recherche de facteur causal, elle témoigne de la présence de restauration, de tenon radiculaire et de leur angulation (un amalgame de grande taille ou un tenon désaxé du canal étant à risques de fêlure).

b) Objectivation des diagnostics différentiels

Concernant les signes endodontiques, la radiographie rétro-alvéolaire permet d'infirmier le diagnostic de fêlure dentaire dans le cas où un diagnostic différentiel est évident : présence de carie avec plus ou moins de proximité pulpaire, dent non traitée endodontiquement avec lésion radioclaire apicale plus ou moins étendue signant une PAA ou un AAA (en accord avec les tests de percussion et palpation) avec objectivation de la cause autre que la fêlure (trauma ou carie), dent traitée présentant un traitement endodontiquement non étanche et visible radiologiquement (traitement insuffisant ou dépassant ; une perforation si elle est large), une restauration coronaire non étanche.

En objectivant l'état du parodonte (ligament parodontal, os alvéolaire), elle permet de mettre en évidence des parodontopathies comme les lésions interradiculaires profondes.

c) Objectivation des lésions dit « en doigt de gant »

La radiographie rétro-alvéolaire ne nous permettra pas de voir la fêlure dentaire du fait du manque de précision (taille du voxel supérieur à la largeur de la fêlure), d'autant plus que la fêlure est le

plus souvent dans le sens mésio-distal, soit parallèle au film [35]. On note l'exception du cas de la fracture radiculaire verticale qui peut parfois apparaître en fonction de la largeur du trait de fracture. Mais comme nous l'avons vu précédemment, une conséquence de la fêlure dentaire peut être une perte d'attache localisée en regard de celle-ci, qui apparaîtra sur la radiographie comme une lésion dite « en doigt de gant », c'est-à-dire une image radioclaire unilatérale [35]. Cela correspond à une fêlure qui s'est étendue au parodonte et a entraîné une colonisation bactérienne.



Fig. 7 : Radiographie rétroalvéolaire montrant une image radioclaire caractéristique d'une lésion « en doigt de gant » [36].

Si la radiologie conventionnelle ne nous permet pas de visualiser directement les fêlures dentaires, elle nous apporte des informations utiles à leur diagnostic. Mais même en présence de ces éléments nous pouvons rester sans réponse face à un cas clinique, c'est pourquoi on peut se demander si l'on peut recourir à des techniques d'imagerie plus performantes, en respectant les principes énoncés (principe ALARA).

IV.2. L'Imagerie 3D : le CBCT

Le CBCT est une méthode d'Imagerie 3D, dont les bienfaits sont largement connus et utilisés notamment en terme d'outil diagnostique, de détermination de conservabilité d'une dent,

dans la recherche de pathologie dentaire ainsi que dans la pratique endodontique quotidienne. Qu'en est-il des fêlures dentaires ?

1) Précision de résolution inadéquate pour la détection des fêlures

Comme nous l'avons vu précédemment, la fêlure dentaire est de largeur variable, et dans la majorité des cas inférieure à 0,08 mm. Malgré les efforts d'optimisation de l'utilisation du CBCT (comme vu, petit champ et grande résolution), il est rapporté que le CBCT ne présente pas une résolution suffisante pour permettre de détecter une fêlure dentaire (à l'exception du cas de la fracture verticale radiculaire, comme nous le verrons par la suite).

Comme démontré par Brüllman et Schulze en 2015, la visibilité des détails d'un examen correspond à une résolution de 500 microns [37]. De ce fait, lors d'un examen médical les auteurs concluent qu'on ne pourra pas s'attendre à une meilleure précision qu'un demi-millimètre, et par conséquent, à observer une fêlure.

En outre, il a été montré par l'AAE en 2018 dans un article portant sur l'impact du CBCT en endodontie que la détection précoce de fêlure au niveau des crêtes marginales n'était pas possible, seulement une détection de l'atteinte de l'os développée dans un second temps pouvait être indicative d'une fêlure longitudinale [31].

2) Le cas de la fracture verticale radiculaire

L'aggravation de la fêlure radiculaire est à l'origine de la fracture radiculaire verticale (complète ou incomplète). Cette progression de la fêlure est à l'origine de l'élargissement du trait fêlure qui devient alors visible parfois sur les radiographies rétroalvéolaires, et d'autant plus sur un examen CBCT. Nombreuses sont les études dont les résultats assurent que le CBCT est assez précis pour détecter les fractures radiculaires verticales [29, 39, 40, 41, 42, 43], et cela avec une sensibilité significativement meilleure que la radiographie rétroalvéolaire. En 2009, Hassan B et col. montrent que la précision globale du CBCT est fortement plus élevée que la radiographie rétroalvéolaire (86% contre 66%) dans la détection des fêlures [43].

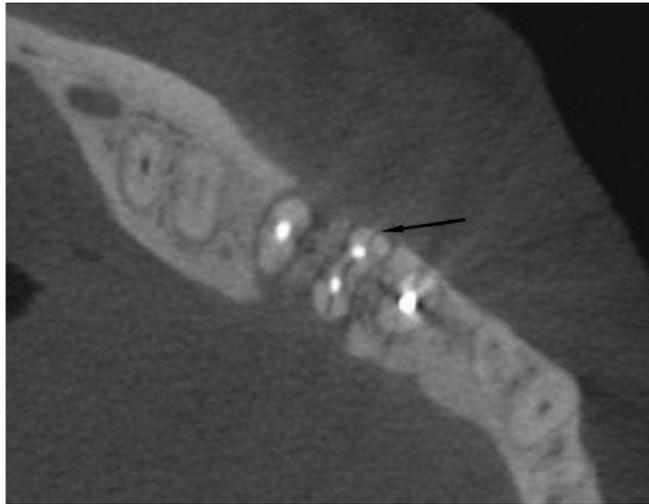


Fig. 8 : Coupe axiale CBCT objectivant la présence d'une fracture radiculaire verticale au niveau de la racine mésiale d'une molaire inférieure [44].

3) Objectivation des lésions endo-parodontales, visualisation de l'os environnant

Comme pour la radiographie rétro-alvéolaire, il est avancé que les conséquences des fêlures dentaires peuvent être appréciées sur un examen CBCT à défaut de ne pas voir la fêlure elle-même. Or, il est reconnu que de par la visualisation dans les trois dimensions, les lésions péri-apicales, latérales touchant le parodonte seront mises en évidence plus facilement et plus précisément au niveau de leur étendue grâce au CBCT, en comparaison à la radiographie rétro-alvéolaire. D'autre part elles seront découvertes plus tôt sur un CBCT par rapport à la radiographie rétro-alvéolaire, ce qui impacte considérablement le pronostic de la dent. Cela est rapporté dans le *Joint Position Statement* de l'AAE à propos de l'usage du CBCT en endodontie : la présence de pathologie endodontique primaire apparaît dans 48% des cas pour le CBCT contre seulement 20% pour les radiographies rétro-alvéolaires [34].

4) Objectivation des diagnostics différentiels

Le CBCT apporte beaucoup plus d'informations pour la mise en évidence de pathologies endodontiques particulières telles que les résorptions, perforations, canal minéralisé, non traité. Le CBCT est donc un outil efficace pour éliminer les diagnostics différentiels qui n'ont pas pu être objectivés grâce à la radiographie conventionnelle seule [34].

5) Les facteurs dont dépend la précision du CBCT dans la détection des fêlures

Les limites connues du CBCT sont le bruit, la résolution en contraste, la sensibilité aux artefacts, la résolution spatiale [45]. Il en résulte l'existence de facteurs rapportés comme entravant la bonne détection des fêlures dentaires.

a) Largeur de la fêlure

L'équipe de Shuang Wang (2017) a évoqué deux possibles raisons de l'échec de détection des fêlures dentaires par le CBCT. Dans un premier temps, il avance que l'une d'elle est la largeur de la fêlure [29, 35]. En effet, c'est la résolution spatiale du CBCT qui détermine le seuil de visibilité d'un détail. Si la largeur est de valeur inférieure à ce seuil, elle ne saurait être distinguée.

b) Marque du CBCT

D'autre part, la marque du CBCT serait également un paramètre à prendre en compte [35]. En effet, l'étude de El Satani et col. (2016) a classé les marques de CBCT en fonction de leur précision de diagnostic des fractures verticales radiculaires pour des dents traitées ou non traitées endodontiquement. La marque i-CAT est reconnue comme la plus précise dans les deux cas [46]. La qualité d'un CBCT dépend notamment de sa faculté à minimiser les effets de bruits, d'artefacts, et améliorer sa résolution spatiale et en contraste, ce qui est propre à chaque marque.

c) Présence de structure voisine de haute densité

Il est également avancé que la présence de tenon radiculaire, de matériau d'obturation, de restaurations, ou tout autre structure de haute densité entraînent la présence d'artefacts, nuisent à la bonne lecture du CBCT [45]. Par exemple, la spécificité du CBCT dans la détection de fracture verticale radiculaire est réduite lors de la présence de matériau d'obturation [16].

d) Interprète

Enfin, il est avancé dans l'étude de Shuang Wang et col. qu'il est préférable que ce soit le radiologue qui effectue le diagnostic plutôt que l'endodontiste ou l'étudiant diplômé, du fait d'une valeur seuil de CBCT (« *cut off value* » du CBCT) plus basse grâce à son expérience et sa formation, permettant une meilleure précision de la profondeur de la fêlure [38].

De surcroît, Janani et Sandhya ont montré (2019) une différence d'analyse des CBCT entre les praticiens endodontistes. En effet, 31% d'entre eux n'étaient pas capables de reconnaître une fracture radiculaire verticale sur un CBCT. Ils en concluent qu'une formation et des connaissances adéquates sont nécessaires à l'endodontiste pour l'interprétation des CBCT lors des procédures de traitement endodontiques [47].

6) Une place de plus en plus importante du CBCT dans notre pratique

Ainsi, le CBCT apporte des informations plus précises et plus fiables que la radiologie conventionnelle.

Si l'on garde en tête que la dose efficace est plus élevée pour le CBCT que pour la radiographie rétroalvéolaire, il est nécessaire de penser à long terme, à la notion de iatrogénie secondaire. Pour un cas complexe, on fait encourir un risque au patient en posant un diagnostic à partir d'une radiographie rétroalvéolaire qui ne nous donne pas suffisamment d'information : on se lance dans un traitement qui n'est pas adapté et qui peut entraîner la détérioration plus rapide de la dent, que si le bon diagnostic avait été posé. Si ce risque est supérieur au risque de nocivité de la dose efficace plus élevée du CBCT, ce dernier est alors justifié. C'est dans ce sens que l'AAE donne de plus en plus d'importance à son utilisation [34].

De plus, on peut s'attendre à une amélioration de la précision du CBCT, de par les nombreuses recherches à cet effet. En 2018, Oyama et col. démontrent l'augmentation de qualité de l'image en réalisant une « super-résolution » d'une image. La super-résolution d'une image consiste à combiner une image de basse résolution à l'image correspondante de haute résolution sans nécessité d'équipement supplémentaire. Les résultats montrent que l'image obtenue est plus précise [48].

Comme l'ont expliqué Venskutonis et son équipe dans une étude menée en 2014, l'imagerie CBCT a le potentiel de devenir l'imagerie de choix pour la planification des traitements endodontiques, et le suivi des résultats, notamment avec le développement de CBCT à plus faible dose à l'avenir [49].

Les rayons X ont été une des premières alternatives à la biopsie et chirurgie exploratoire, mais le désir de se soustraire au risque de nocivité qu'ils entraînent ont conduit au développement de nouvelles technologies. Il s'agit par exemple de l'IRM, l'ultrasonographie, ou encore la tomographie à cohérence optique [50]. Nous verrons lesquelles de ces technologies peuvent avoir leur utilité dans le diagnostic des fêlures, notamment grâce à leur résolution spatiale améliorée.

IV.3. La tomographie à cohérence optique

1) Historique

La tomographie à cohérence optique (TCO) a été décrite pour la première fois en 1991 à l'institut de technology de l'université de Massachusetts. [50] Depuis cette découverte, son développement a permis son utilisation courante dans plusieurs disciplines médicales telles que l'ophtalmologie, la cardiologie, la dermatologie. En 1998, sont présentées pour la première fois des

images *in vitro* des tissus durs et mous de dents de porcins, issue de la TCO. Peu de temps s'est écoulé avant d'obtenir des images *in vivo* de dents humaines en odontologie [51].

2) Principe

La TCO se base sur l'interférométrie d'ondes lumineuses cohérentes [52]. D'une manière analogique aux ultrasons, des ondes lumineuses cohérentes sont envoyées vers les tissus et interagissent avec elles, et leurs retours donnent des informations sur le temps écoulé lors de leurs trajets, ainsi que l'intensité lumineuse diffuse ou réfléchie par les tissus internes. Le dispositif permet ainsi d'analyser le signal d'interférences et localiser les points où l'index de réfraction change [76]. De fait, on obtiendra des images en coupe de microstructures *in situ* [51].

Si la TCO peut s'apparenter à la technique des ultrasons (US), elle en diffère cependant par le fait que les ondes lumineuses ont une vitesse d'une valeur un million de fois plus élevée que la vitesse du son, ce qui résulte en une résolution temporelle plus élevée. D'autre part, la capacité de pénétration est à l'inverse bien plus faible que pour les US, respectivement 2 mm pour la TCO et 10 cm pour les US [50].

Il existe deux grands types de TCO, différents par leur système de fonctionnement :

- le *Time-Domain Optical Coherence Tomography* (TD-OCT),
- et le *Fourier-Domain Optical Coherence Tomography* (FD-OCT).

Le TD-OCT fut le premier décrit, seulement c'est le FD-OCT qui est le plus couramment utilisé en odontologie car il permet de réduire le temps d'acquisition d'une centaine de fois et d'obtenir par son système d'acquisition des images en 3 dimensions (ce qui n'est pas possible avec le TD-OCT) [50].

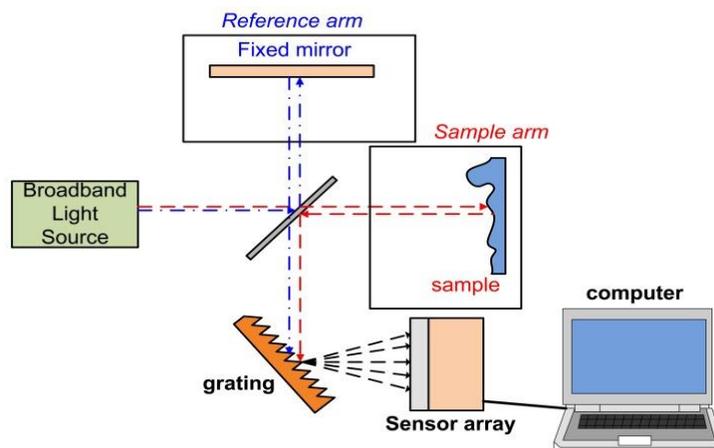


Fig. 9 : Système du FD-OCT. Les ondes lumineuses sont envoyées par la source, rencontrent un beam splitter (diviseur de faisceau), permettant la division puis la recombinaison des ondes, avec un envoi d'ondes vers l'échantillon, et un autre envoi vers un bras de référence. Les interactions des ondes avec l'échantillon d'une part, et avec le miroir fixe contenu dans le bras de référence d'autre part permet leur renvoi vers les capteurs (après un passage à travers une grille pour la transformation de Fourier) puis leur communication à l'ordinateur pour l'analyse. Une comparaison est faite entre les ondes renvoyées par le bras de référence, et celles renvoyées par les tissus [51].

3) Des atouts favorables à la détection de fêlure

a) Une résolution spatiale élevée

La TCO requiert l'utilisation d'ondes lumineuses de longueur d'onde de l'ordre de 1300 nm [53], et par conséquent permet d'obtenir une résolution spatiale de l'ordre de 10 à 20 microns [54]. Ceci permet de détecter des changements qualitatifs et quantitatifs des changements morphologiques des tissus durs *in vivo*, y compris la présence de fêlures dentaires [51]. La distinction est précise entre les fêlures amélaire, coronaire ainsi que leur localisation [55] ; les caractéristiques et le comportement des fêlures sont facilement mise en évidence [56] [57] ; le diagnostic des microfêlures radiculaire se fait aisément (dans le cas de dents extraites, avec un accès direct à l'apex) [58] ; la TCO est prometteuse pour la détection de fractures verticales radiculaire [59]. Sur ce dernier point, il est montré que la TCO présente plus de précision que le CBCT ou les radiographies rétro-alvéolaires [60] [61].

D'autre part, il a été démontré que la TCO est plus performante que la transillumination pour détecter les fêlures par l'équipe de Imai en 2012 [62] [63].

La TCO a été également décrite comme étant capable de mettre en évidence les poches parodontales et la perte osseuse [53].

De ce fait la TCO apparaît comme une modalité de choix pour la détection de fêlure, en comparaison des autres techniques d'imagerie.

b) Une image en temps réel

La TCO présente également la qualité d'offrir des images en temps réel : l'acquisition de data peut être faite en quelques secondes. Ceci est un réel gain de temps pour le praticien, par rapport à un examen radiologique par exemple. Cependant, il est à garder en mémoire que la qualité sera plus médiocre avec un temps d'acquisition trop raccourci, du fait d'un temps de traitement également écourté. La balance est à évaluer entre la qualité de l'image obtenue et le temps d'acquisition [51].

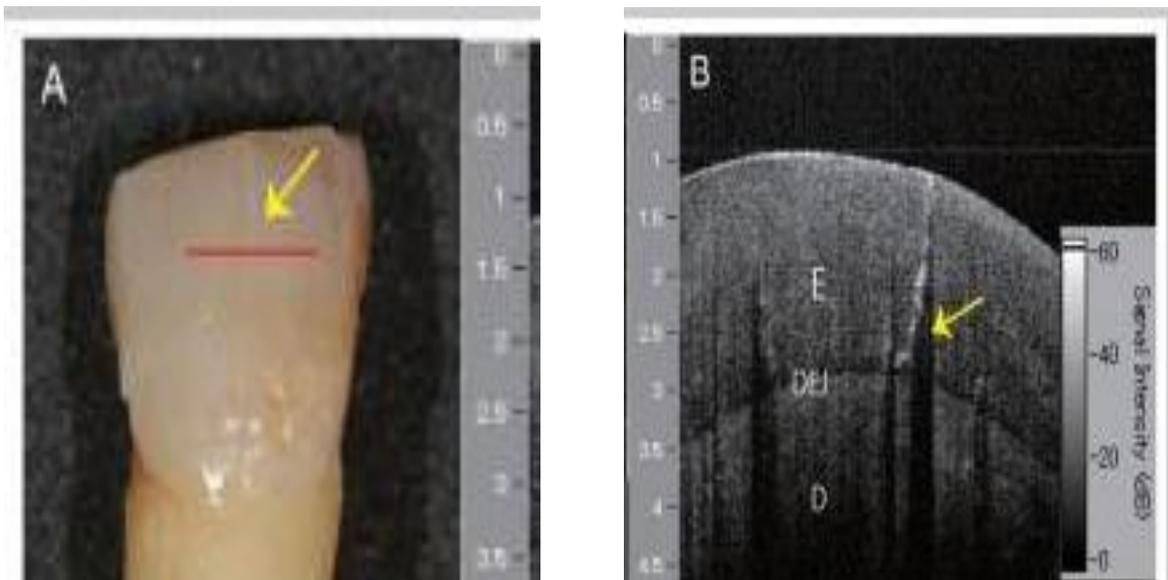


Fig. 10 -: (A) : image de la fêlure amélaire. (B) Image TCO réalisée le long de la ligne rouge en (A) On voit que la fêlure s'est étendue au delà de la jonction amélodentinaire (DEJ) [51].

4) Limites à l'utilisation de la TCO

- Une profondeur de pénétration réduite

Les propriétés des ondes lumineuses proches de l'infrarouge utilisées dans le cadre de la TCO font qu'elles ont une profondeur de pénétration réduite par rapport aux ultrasons (respectivement 2 à 3 mm contre 10 cm). C'est la longueur d'onde centrale qui détermine la profondeur maximum de pénétration [50]. En effet, plus la longueur d'onde est courte et moins les ondes sont pénétrantes [64]. Ainsi, ceci représente une limite pour l'observation de l'extension de la fêlure. La TCO pourra facilement montrer une extension à la pulpe sur dent pulpée, et mais plus difficilement l'extension radiculaire sur une dent dépulée.

- Une pénétration dépendante de la longueur d'onde et du type de tissu traversé

D'autre part, l'absorption des rayons qui impacte directement la pénétration des ondes au sein des tissus, dépend du tissu traversé. En effet, leur nature conditionne le coefficient d'absorption de chacun d'eux [64]. En passant d'un tissu dur comme l'émail, à un tissu mou comme la gencive le coefficient d'absorption n'est pas homogène et la pénétration est affecté. C'est pourquoi l'équipe de Machoy suggère dans son étude menée en 2017 que la TCO devrait offrir la possibilité de contrôler la longueur d'onde utilisée selon le tissu traversé [50].

- Une méthode non commercialisée à ce jour - La nécessité de développement de sonde TCO à usage odontologique

Aujourd'hui il n'existe pas de sonde TCO adaptée et commercialisée auprès des chirurgiens-dentistes. Dans une étude de Kanako Imai et col. réalisée en 2012, la détection de fêlure est limitée à la portion coronaire où le laser peut irradier. Le *design* de la sonde ne permet pas de détecter au delà de l'ouverture canalaire, et la présence des tissus gingivaux atténue le signal, bloquant l'accès à la zone subgingivale [62].

A ce sujet, l'équipe de Schneider dans le cadre de son étude réalisée en 2017 sur les applications en cariologie de la TCO ont eu recours à l'entreprise de recherche et développement Medizinisches Laserzentrum Lübeck pour obtenir un prototype de sonde adapté à la cariologie [65].

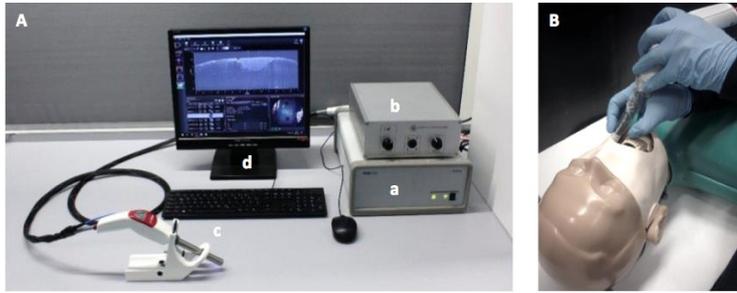


Fig. 11 : Image de l'installation complète du système TCO (a), le bras de référence (b), la sonde (c) et l'équipement ordinateur périphérique (d) [65].

Il serait intéressant à l'avenir de développer une sonde adaptée aux fêlures.

- Un manque de *golden standard*

Une dernière limite à l'utilisation de la TCO est son utilisation récente en odontologie qui explique que les éléments de comparaison sont manquants dans les nombreuses publications : le golden standard manque à la méthodologie de ces études. Ceci diminue la fiabilité de la TCO [50].

5) Une technique d'imagerie innovante au fort potentiel

a) Une méthode non-invasive, non nocive

La TCO présente donc un fort potentiel en représentant une méthode d'imagerie non destructive non invasive, non ionisante avec une haute résolution [66]. Après avoir résolu le souci de la disponibilité et de la qualité de l'équipement, elle pourra être considérée comme une méthode de choix pour les diagnostics dentaires modernes [50].

b) Indications

Nous avons décrit jusque là l'utilité de la TCO pour la détection des fêlures cependant elle s'applique à beaucoup d'autres disciplines dentaires. Ainsi elle peut être utilisée en diagnostics, en cariologie et odontologie restauratrice, en endodontie, en pédodontie, en prothèse, en implantologie et parodontologie, en orthodontie mais encore en chirurgie orale pour la recherche de lésions cancéreuses [50]. Il en ressort que la TCO est un outil attractif pour le praticien, qui sera plus à même d'investir pour une machine pouvant s'avérer coûteuse, s'il peut l'utiliser quotidiennement.

IV.4. Autres techniques d'imagerie

D'autres techniques d'imagerie ont été testées au cours d'études, dans le but de détecter les fêlures de manière non-invasive, non-nocive pour le patient.

1) Les ultrasons

Les ultrasons possèdent une longueur d'onde courte comme pour la TCO. Ainsi, ils peuvent avoir le potentiel de détecter les fêlures. Une étude menée par Culjat et col. en 2005 montre sa capacité à la détecter sur une dent humaine simulée [67]. Si les études restent aujourd'hui trop peu nombreuses pour affirmer sa fiabilité, il se peut que le développement des ultrasons en odontologie se fasse dans les années à venir [68].

2) La Digital subtraction radiography

La *digital subtraction radiography* consiste à détecter de petits changements radiographiques en comparant deux radiographies successives, en enlevant les parties anatomiques non altérées de la radiographie. Il est ainsi mis en évidence tout ce qui ne fait pas partie de l'anatomie de la dent, et cela sans nécessité d'équipement supplémentaire. Dans une étude réalisée par l'équipe de Kapralos en 2019, il est démontré que la *digital subtraction radiography* présentait de meilleurs résultats de diagnostics des fractures verticales radiculaires que la radiographie rétro-alvéolaire conventionnelle [69].

3) L'utilisation de produit de contraste lors de CBCT : Meglumine Diatriazote

Une étude de Yuan et col. de 2020 a montré que pour améliorer la détection des fêlures dentaires, il était possible d'utiliser un produit de contraste. Ainsi, alors que la détection de fêlure à l'aide du CBCT seul se faisait dans environ 23% à 32% des cas (selon l'expérience de l'interprète), l'ajout de Meglumine Diatriazote permettait la détection dans de fêlure dans 61 à 65% des cas [70]. Cette étude a été menée en laboratoire, mais pourrait cependant être développée *in vivo* à l'avenir.

4) La lumière polarisée

La nanostructure de l'émail fait que la surface dentaire possède des propriétés de biréfringence. De ce fait, le changement de nanostructure due à une anomalie telle que la fêlure dentaire peut être détectée grâce à l'utilisation de lumière polarisée. C'est l'objet de l'étude menée par Hsiao et col. en

2019 : l'équipe a montré l'efficacité de l'utilisation de lumière polarisée pour la détection de fêlure en laboratoire (ainsi que pour l'ensemble des pathologies des tissus durs de la dent). Elle défend cette technique comme étant par ailleurs moins coûteuse que la TCO, lui offrant plus de chance d'être utilisée en clinique. L'équipe a pour intention de développer cette technique pour rendre son utilisation possible *in vivo* [71].

5) L'IRM

La technique de l'IRM, connue dans le monde médical, a également été testée pour détecter les fêlures. C'est l'équipe de Schuurmans en 2019 qui s'est penchée sur ce sujet, mais a montré que malgré un meilleur contraste et l'absence d'artefact, l'IRM présente une sensibilité et spécificité équivalentes au CBCT. Des améliorations de la qualité de l'IRM sont donc souhaitables, en particulier pour l'acquisition d'image et les paramètres de traitement de l'image, pour pouvoir se développer comme technique de diagnostic des fêlures [72].

La présentation de chacune de ces techniques d'imagerie nous montre qu'aucune n'est suffisante à elle seule pour établir correctement le diagnostic et le pronostic de la dent.

Cependant chaque technique nous apporte des informations qui peuvent s'avérer fortement utiles à notre raisonnement. C'est pourquoi il advient au praticien de choisir à quel moment un examen d'imagerie peut être intéressant pour compléter l'examen clinique, tout en respectant le principe ALARA lorsqu'il s'agit d'imagerie irradiante. Nous verrons dans le chapitre prochain une possibilité de logique de diagnostic.

V. QUELLE ATTITUDE ADOPTER FACE A UNE SUSPICION DE FELURE DENTAIRE ? PROPOSITION DE PROTOCOLE ET PERSPECTIVES

V.1. Diagnostic préventif de fêlure dentaire

Une manière d'éviter des cas de fêlure où la dent est détériorée de manière importante est de les détecter dès leur apparition. L'étude de Chen et col. (2018) s'intéresse à détecter des fêlures dentaires après une instrumentation rotative des canaux à l'aide de la tomographie à cohérence optique. Les résultats montrent que la détection se fait facilement avec une sensibilité et une spécificité très élevées (respectivement 1 et 0,983) [66]. Ainsi, il pourrait être intéressant d'incorporer aux protocoles où notre instrumentation peut provoquer un traumatisme iatrogène, un contrôle de préparation pour rechercher la présence de fêlures naissantes.

V.2. Proposition de protocole de diagnostic de la fêlure

Le diagnostic de la fêlure est, comme nous l'avons constaté, moins évident que la majorité des autres pathologies dentaires auxquelles nous sommes le plus fréquemment confrontés. Ainsi nous serons amenés à être rigoureux avec le questionnaire médical et ciblé, puis l'examen clinique. Il ne s'agit pas de s'engager dans des examens radiographiques systématiques, mais plutôt choisir à quel moment du protocole ils peuvent être utiles pour compléter l'examen clinique.

Si l'on n'est pas capable de prouver la présence de la fêlure, il faudra pouvoir démontrer qu'elle représente le diagnostic le plus probable en prenant soin d'infirmer tous les diagnostics différentiels possibles et en recueillant tout signe susceptible d'être caractéristique d'une fêlure. Le diagnostic pourra donc parfois être posé par défaut. L'important pour le praticien est de mettre en œuvre le maximum de moyens possibles pour obtenir le pronostic de la dent, dont il informera le patient découlera le traitement

1) Anamnèse et examen clinique global

ANAMNESE	EXAMEN D'IMAGERIE
<p>Médicale</p> <p>Âge ? (sujet âgé de 30 à 50 ans + à risque)</p> <p>Sexe ? (sujet féminin + à risque)</p> <p>Stress ?</p> <p>Consommation de drogues ?</p> <p>Ciblée</p> <p>Parafonctions ? (sujet bruxomane + à risque)</p> <p>Localisation dentaire ? (Molaire inférieure plus à risque)</p> <p>ATCD de soins sur cette dent ? (possibles traumatismes iatrogènes)</p> <p>Symptomatologie</p> <p>Douleur au froid ?</p> <p>Douleur à la mastication ?</p>	<p>-> Examen panoramique : Signe de bruxisme ?</p>
<p>EXAMEN CLINIQUE</p>	
<p>Inspection exobuccale</p> <p>Hypertrophie musculaire ? (peut être associée à bruxisme)</p>	
<p>Analyse occlusale</p> <p>Dent soumise à des forces anormales ?</p> <p>Attrition (signe de bruxisme) ?</p> <p>Présence de <i>piercing</i> lingual ?</p>	<p>-> Examen panoramique : Problèmes d'occlusion ? Version ?</p>
<p>Dent</p> <p>Anatomie dentaire à risque ?</p> <p>Présence de restauration ?</p> <p>Présence de fêlure amélaire externe ? (plus à risque de présence de fêlure interne)</p> <p>Présence de couronne protectrice ?</p>	<p>-> Radiographie rétro-alvéolaire : Anatomie en V, présence de tenon radulaire, de restauration ?</p>

2) Cas de la dent pulpée

1. Eliminer les diagnostics différentiels (DD)

Examen clinique	Examen d'imagerie correspondant
examen habituel	-> Radiographie rétroalvéolaire : permet de confirmer ou d'infirmer les diagnostics Recours au CBCT si les diagnostics ne sont pas évidents

DD avéré :

lésion carieuse, lésion cervicale d'usure, pulpite d'origine carieuse ou macrotraumatique, hyperocclusion, fracture, PAA d'origine carieuse ou macrotraumatique, syndrome du septum, abcès parodontal

DD écarté : fêlure probable

2. Tentative de visualisation de la fêlure

Examen clinique	Examen d'imagerie correspondant
Aide optique ; Bleu de Méthylène, transillumination ; tentative de visualisation de la fêlure	-> (A L'AVENIR) TCO : visualisation du trait de fêlure, atteinte pulpaire ou parodontale

Visualisation = + d'exactitude du diagnostic de fêlure
pas de visualisation n'infirme pas la présence de fêlure !

3. Recherche de signe endo-parodontaux

Examen clinique	Examen d'imagerie correspondant	3.a Test au froid	Examen clinique	Examen d'imagerie correspondant	3.b Test de morsure	Examen clinique	Examen d'imagerie correspondant	Examen clinique	Examen d'imagerie correspondant	3.c Test parodontal
4 cas de figures : - pas de réaction : nécrose (tt endodontique à envisager) - réaction normale : pas d'inflammation pulpaire, dent vitale - réaction vive : pulpite réversible (douleur s'arrête avec le stimulus) ou pulpite irréversible (douleur continue après arrêt du stimulus)	-> Radiographie rétroalvéolaire : Si présence de restauration, visualisation de la préparation interne de la dent (peut être à risque de développement de fêlure en direction pulpaire)		De préférence au <i>tooth slooth</i> , douleur au relâchement caractéristique de la fêlure	X		Sondage : recherche de présence de poche parodontale unilatérale 3 cas de figure : - Absence de poche : pas d'atteinte parodontale - Poche < 4mm : atteinte parodontale sans risque de nécrose - Poche > 4mm : atteinte parodontale à risque accru de nécrose		-> Radiographie rétroalvéolaire : objectivation de lésion parodontale -> Si ne donne pas suffisamment d'information : recours au CBCT par préférence la réalisation du CBCT par un meilleur interprète (endodontiste, radiologue), favoriser la meilleure marque de CBCT pour augmenter précision		

+ de signes recueillis = + grande probabilité de présence de fêlure et de fêlure à risque
Peu ou pas de signes particuliers : pas d'infirmer de présence de fêlure mais meilleur pronostic

3) Cas de la dent dépulpée : suspicion de fêlure coronaire

1. Eliminer les diagnostics différentiels (DD)

Examen clinique	Examen d'imagerie correspondant
examen habituel	-> Radiographie rétroalvéolaire : permet de confirmer ou d'infirmer les diagnostics Recours au CBCT si les diagnostics ne sont pas évidents

DD avéré :

Fracture, hyperocclusion, PAA ou AAA d'origine macrotraumatique ou infectieuse (carie, traitement endodontique non étanche, dépassement de matériau d'obturation, perforation), mauvaise étanchéité coronaire entraînant infection, syndrome du septum, abcès parodontal, fêlure radiculaire ou fracture radiculaire verticale

DD écarté : fêlure probable

2. Tentative de visualisation de la fêlure

Examen clinique	Examen d'imagerie correspondant
Aide optique ; Bleu de Méthylène, transillumination : tentative de visualisation de la fêlure Recherche d'atteinte des crêtes marginales, du plancher pulpaire, de l'extension radiculaire, du nombre de fêlures	--> (A.L'AVENIR) TCO : visualisation du trait de fêlure, orientation, extension radiculaire, atteinte parodontale Visualisation = + d'exactitude du diagnostic de fêlure pas de visualisation n'infirme pas la présence de fêlure !

3. Recherche de signe endo-parodontaux

3.a Test parodontal

Examen clinique	Examen d'imagerie correspondant
Sondage : recherche de présence de poche parodontale unilatérale. La présence de poche parodontale supérieure à 5 mm diminue le taux de succès du retraitement endodontique.	-> Radiographie rétroalvéolaire : objectivation de lésion parodontale Si ne donne pas suffisamment d'information : recours au CBCT préferer la réalisation du CBCT par un meilleur interprète (endodontiste, radiologue), favoriser la meilleure marque de CBCT pour augmenter précision *

3.b Test de morsure

Examen clinique	Examen d'imagerie correspondant
De préférence au <i>tooth slooth</i> , douleur au relâchement caractéristique de la fêlure	X

3.c Test de percussion

Examen clinique	Examen d'imagerie correspondant
Recherche de lésion péri-apicale. La présence de lésion péri-apicale diminue le taux de succès du retraitement endodontique.	-> Radiographie rétroalvéolaire : objectivation de lésion péri-apicale Si ne donne pas suffisamment d'information : recours au CBCT (avec les mêmes recommandations *)

+ de signes recueillis = + grande probabilité de présence de fêlure et de fêlure à risque
Peu ou pas de signes particuliers : pas d'infirmer de présence de fêlure mais meilleur pronostic

4) Cas de la dent dépulpée : suspicion de fêlure radiculaire

1. Eliminer les diagnostics différentiels (DD)

Examen clinique	Examen d'imagerie correspondant
examen habituel	-> Radiographie rétroalvéolaire : permet de confirmer ou d'infirmer les diagnostics Recours au CBCT si les diagnostics ne sont pas évidents

DD avéré :

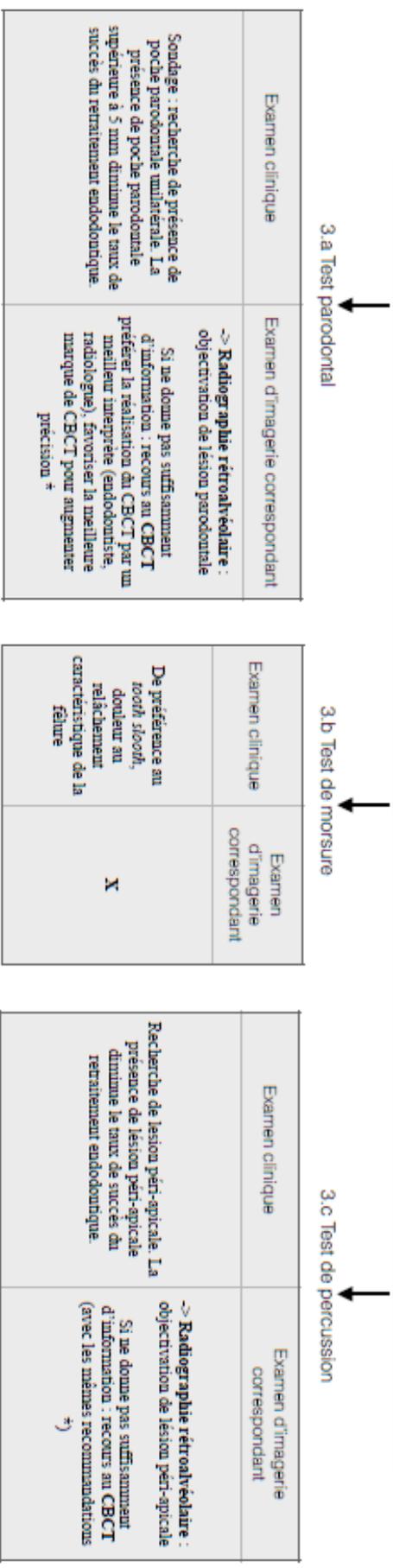
DD écarté : fêlure probable

2. Tentative de visualisation de la fêlure

fracture, hyperocclusion, PAA ou AAA d'origine macrotraumatique ou infectieuse (carie, traitement endodontique non étanche, dépassement de matériau d'obturation, perforation), mauvaise étanchéité coronaire entraînant infection, syndrome du septum, abcès paradontal, fêlure coronaire ou fracture coronaire

Examen clinique	Examen d'imagerie correspondant
Aide optique : Bleu de Méthylène, transillumination : tentative de visualisation de la fêlure par accès chirurgical	-> (A.L.A.VENIR) ICO : visualisation du trait de fêlure -> CBCT pour mettre en évidence une fracture radiculaire verticale Visualisation = + d'exactitude du diagnostic de fêlure pas de visualisation n'infirme pas la présence de fêlure !

3. Recherche de signe endo-parodontaux



+ de signes recueillis = + grande probabilité de présence de fêlure et de fêlure à risque
Peu ou pas de signes particuliers : pas d'irradiation de présence de fêlure mais meilleur pronostic

V.3. Adapter son traitement au diagnostic

L'ensemble de ces informations vont nous permettre d'établir le pronostic de la dent et le traitement adapté :

1) Dans le cas d'une dent pulpée :

Diagnostic	Traitement
Pas de fêlure ou fêlure non à risque (fêlure amélaire)	Abstention (conseils et information de la possibilité de gouttière pour patients bruxomanes)
Fêlure avec inflammation pulpaire réversible ou commencement de lésion parodontale ou cuspidienne avec risque de fracture	Traitement de protection de la dent sans dévitalisation de celle-ci
Fêlure avec inflammation pulpaire irréversible, ou nécrose et/ou avec lésion parodontale marquée (supérieure à 4 mm)	Traitement endodontique de la dent et reconstitution prothétique

2) Dans le cas d'une dent dépulpée : suspicion de fêlure coronaire :

Diagnostic	Traitement
Absence de fêlure ou fêlure non à risque (fêlure amélaire)	Abstention (conseils et information de la possibilité de gouttière pour patients bruxomanes)
Fêlure cuspidienne ou coronaire sans atteinte du plancher pulpaire	Traitement de protection de la dent (par exemple : couronne prothétique) sans retraitement endodontique de la dent (sauf si lésion périapicale due à autre cause que fêlure)

Fêlure avec atteinte du plancher pulpaire, extension radiculaire inférieure à 5 mm	Proposition de retraitement endodontique de la dent et reconstitution prothétique, en informant le patient des risques d'échecs dus, si elles sont présentes, à une atteinte des crêtes marginales, et/ou à la présence de lésion parodontale supérieure à 5 mm, et/ou à la présence de lésion péri-apicale
Fêlure avec atteinte du plancher pulpaire et extension radiculaire supérieure à 5 mm ou fêlure coronaire ayant évolué vers la fracture coronaire « <i>split tooth</i> »	Avulsion de la dent

3) Dans le cas d'une dent dépulpée : suspicion de fêlure radiculaire :

Diagnostic	Traitement
Absence de fêlure ou de fracture radiculaire	Abstention (conseils et information de la possibilité de gouttière pour patients bruxomanes)
Présence de fêlure radiculaire ou fracture radiculaire	Avulsion de la dent

Les traitements peuvent être amenés à évoluer. Dans le cas de fracture verticale radiculaire : une étude réalisée en 2019 par l'équipe de Okaguchi et col. consistait à avulser les dents présentant des fractures radiculaires verticales dont l'épaisseur était qualifiée d'épaisse, traiter la dent avec de la résine adhésive puis les réimplanter. Les résultats montrent qu'à au moins 3 ans et demi, les dents étaient asymptomatiques, non ankylosées et fonctionnelles [56, 73, 74].

CONCLUSION

Si l'imagerie médicale *in vivo* ne nous permet pas aujourd'hui de mettre en évidence avec exactitude la présence de fêlure, elle nous donne des informations essentielles pour la détermination du pronostic de la dent. Cet examen complémentaire ne devrait donc pas être produit de manière systématique par le praticien, mais plutôt de façon réfléchie ; lorsque tous les éléments cliniques ont été collectés, et que l'on cherche une précision que seule l'imagerie peut nous apporter. Le praticien aura alors mis en oeuvre tous les moyens disponibles pour le traitement du patient.

Mettre en oeuvre tous les moyens disponibles, c'est aussi savoir référer, avoir recours à un spécialiste pour l'interprétation d'examen CBCT par exemple si l'on ne possède pas les connaissances suffisantes pour une pathologie endodontique spécifique. On offre de cette façon là le maximum de chances au patient.

Comme nous l'avons vu, la fêlure dentaire présente des pronostics meilleurs qu'auparavant dès lors que le traitement est précoce, et adapté au diagnostic qui se doit d'être de plus en plus précis. Cette pathologie se présente sous de multiples formes et stades de progression, et il est important de distinguer chacun d'eux pour ne pas condamner la dent chaque fois que l'on suspecte une fêlure dentaire. Il n'est plus question de seulement démontrer la présence de fêlure, mais plus vraisemblablement de chercher les paramètres déterminants de son pronostic. La fêlure dentaire est devenue la troisième cause d'avulsion dentaire, après la lésion carieuse et la pathologie parodontale, et il est de notre devoir de limiter ces avulsions dans la mesure du possible par souci d'être le plus conservateur possible.

La pathologie que représente la fêlure dentaire est complexe, cependant de plus en plus connue des praticiens, grâce à une information croissante et plus explicite à ce sujet. On peut donc espérer à l'avenir une meilleure prise en charge, d'autant plus que les techniques de diagnostic se veulent plus performantes avec des technologies innovantes. Le développement de la tomographie à cohérence optique en odontologie pourrait notamment devenir la nouvelle modalité d'imagerie de choix pour le diagnostic de fêlure ainsi que d'autres pathologies dentaires ; l'absence de nocivité et de risque encouru pour le patient étant un réel progrès pour notre pratique dentaire.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. Hasan S, Singh K, Salati N. Cracked tooth syndrome: Overview of literature. *International Journal of Applied and Basic Medical Research*. 9 janv 2015;5(3):164.
- [2]. Huang C-C, Chang Y-C, Chuang M-C, Lin H-J, Tsai Y-L, Chang S-H, et al. Analysis of the width of vertical root fracture in endodontically treated teeth by 2 micro-computed tomography systems. *J Endod*. mai 2014. 40(5). 698702 p.
- [3]. Dominique MARTIN, Pierre MACHTOU. Les fêlures coronaires : symptômes et démarche diagnostique - ROS - 2009 - Tome 38 - N°4 - *Revue OdontoStomatologique* - SOP
- [4]. Alassaad SS. Incomplete cusp fractures: early diagnosis and communication with patients using fiber-optic transillumination and intraoral photography. *Gen Dent*. avr 2011;59(2):1325.
- [5]. American Association of Endodontists. Cracking the Cracked Tooth Code: Detection and Treatment of Various Longitudinal Tooth Fractures. *AAE newsletter*. 2008.
- [6]. Yang S-E, Jo A-R, Lee H-J, Kim S-Y. Analysis of the characteristics of cracked teeth and evaluation of pulp status according to periodontal probing depth. *BMC Oral Health*. 28 nov 2017. 17: 135.
- [7]. Boyang Wan, Mahdi Shahmoradi, Zhongpu Zhang, Yo Shibata, Babak Sarrafpour, Michael Swain & Qing Li. Modelling of stress distribution and fracture in dental occlusal fissures. *Scientific Reports*. 2019.4682 (2019)
- [8]. Banerji S, Mehta SB, Millar BJ. Cracked tooth syndrome. Part 1: aetiology and diagnosis. *Br Dent J*. 22 mai 2010;208(10):45963.
- [9]. Miguéns-Vila R, Martín-Biedma B, Varela-Patiño P, Ruíz-Piñón M, Castelo-Baz P. Vertical Root Fracture initiation in curved roots after root canal preparation: A dentinal micro-crack analysis with LED transillumination. *J Clin Exp Dent*. 1 oct 2017;9(10):e121823.
- [10]. Fried WA, Simon JC, Lucas S, Chan KH, Darling CL, Staninec M, et al. Near-IR imaging of cracks in teeth. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*. 18 févr 2014;8929:89290Q.
- [11]. Turssi CP, Algarni AA, Eckert GJ, Hara AT. Enamel crack association with tooth age and wear severity: An optical coherence tomography study. *Am J Dent*. févr 2019;32(1):38.
- [12]. Teoh L, Moses G, McCullough MJ. Oral manifestations of illicit drug use. *Australian Dental Journal*. 2019;64(3):21322.
- [13]. Wu S, Lew HP, Chen NN. Incidence of Pulpal Complications after Diagnosis of Vital Cracked Teeth. *J Endod*. mai 2019;45(5):5215.

- [14]. Mamoun JS, Napoletano D. Cracked tooth diagnosis and treatment: An alternative paradigm. *Eur J Dent.* juin 2015;9(2):293303.
- [15]. Davis MC, Shariff SS. Success and Survival of Endodontically Treated Cracked Teeth with Radicular Extensions: A 2- to 4-year Prospective Cohort. *J Endod.* juill 2019;45(7):84855.
- [16]. Krell KV, Caplan DJ. 12-month Success of Cracked Teeth Treated with Orthograde Root Canal Treatment. *J Endod.* avr 2018;44(4):5438.
- [17]. Leong DJX, de Souza NN, Sultana R, Yap AU. Outcomes of endodontically treated cracked teeth: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig.* 2020;24(1):465- 473.
- [18]. Mahgoli HA, Arshad M, Rasouli K. Restoration of endodontically treated cracked maxillary teeth: A case series. *Clin Case Rep.* 2019;7(10):1951- 1956.
- [19]. Abulhamael AM, Tandon R, Alzamzami ZT, Alsofi L, Roges RA, Rotstein I. Treatment Decision-making of Cracked Teeth: Survey of American Endodontists. *J Contemp Dent Pract.* 2019;20(5):543- 547.
- [20]. Hilton TJ, Funkhouser E, Ferracane JL, Gordan VV, Huff KD, Barna J, et al. Associations of types of pain with crack-level, tooth-level and patient-level characteristics in posterior teeth with visible cracks: Findings from the National Dental Practice-Based Research Network. *J Dent.* 2018;70:6773.
- [21]. H. Beddis, M. Pemberton, Stephen Davies. Sleep bruxism: an overview for clinicians. *British dental journal.* September 2018. 225(6).
- [22]. Ferracane JL, Funkhouser E, Hilton TJ, Gordan VV, Graves CL, Giese KA, et al. Observable characteristics coincident with internal cracks in teeth: Findings from The National Dental Practice-Based Research Network. *J Am Dent Assoc.* oct 2018;149(10):885-892.e6.
- [23]. Reversat Q. Test de vitalité et traumatismes dentaires. Université de Toulouse III - Paul Sabatier; 2015.
- [24]. Yang Y, Chen G, Hua F, Yu Q, Yang W. Biting pain reproduced by the Tooth Slooth: an aid for early diagnosis of cracked tooth. *Quintessence Int.* 2019. 50(1):827.
- [25]. Mathew S, Thangavel B, Mathew CA, Kailasam S, Kumaravadivel K, Das A. Diagnosis of cracked tooth syndrome. *J Pharm Bioallied Sci.* août 2012;4(Suppl 2):S2424.
- [26]. Lynch CD, McConnell RJ. The cracked tooth syndrome. *J Can Dent Assoc.* 2002;68(8):470-475.
- [27]. Wright HM, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Waller J, Pashley DH. Identification of resected root-end dentinal cracks: a comparative study of transillumination and dyes. *J Endod.* oct 2004;30(10):7125.
- [28]. SALMON B. Cone Beam CT en pratique dentaire - du chirurgien-dentiste au radiologue. Paris, France. SAURAMPS MEDICAL. 2014. 289 p.

- [29]. Guo XL, Li G, Zheng JQ, et al. Accuracy of detecting vertical root fractures in non-root filled teeth using cone beam computed tomography: effect of voxel size and fracture width. *Int Endod J*. 2019;52(6):887- 898.
- [30]. Blondiaux E, Cochet A, Durand E, Kremer S, Montaudon M, Parlier-Cuau C. *Imagerie médicale: Les fondamentaux : radioanatomie, biophysique, techniques et séméiologie en radiologie et médecine nucléaire*. France. ELSEVIER MASSON. 2017. 392p.
- [31]. HAS. Tomographie volumique a faisceau conique de la face (cone beam computerized tomography). Rapport du service Evaluation des actes professionnels. Juin 2009.
- [32]. HAS. Guide des indications et procédures des examens radiologiques en odonto-stomatologie. Code de la santé publique. 1ère édition Mai 2006. Livre Ier, Titre Ier, Chapitre V-I, Section 6, Sous-section 3 - Dispositions diverses, Articles R 1333-70 à R1333-72).
- [33]. ROCHER P. Assurance de la qualité en imagerie médicale mettant en œuvre des rayonnements ionisants. *ADF DOSSIER*. 2019.
- [34]. Special Committee to Revise the Joint AAE/AAOMR Position Statement on use of CBCT in Endodontics. AAE and AAOMR Joint Position Statement: Use of Cone Beam Computed Tomography in Endodontics 2015 Update. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. oct 2015;120(4):50812.
- [35]. Wang S, Xu Y, Shen Z, Wang L, Qiao F, Zhang X, et al. The Extent of the Crack on Artificial Simulation Models with CBCT and Periapical Radiography. *PLoS ONE*. 2017;12(1):e0169150.
- [36]. Khasnis SA, Kidiyoor KH, Patil AB, Kenganal SB. Vertical root fractures and their management. *J Conserv Dent*. mars 2014;17(2):10310.
- [37]. Brüllmann D, Schulze R KW. Spatial resolution in CBCT machines for dental/maxillofacial applications—what do we know today? *Dentomaxillofac Radiol*. janv 2015.44(1):20140204.
- [38]. American Association of Endodontists. Mohamed I. Fayad. The Impact of Cone Beam Computed Tomography in Endodontics: A New Era in Diagnosis and Treatment Planning. Newsletter AAE. 2018.
- [39]. Ozer SY. Detection of vertical root fractures of different thicknesses in endodontically enlarged teeth by cone beam computed tomography versus digital radiography. *J Endod*. juill 2010;36(7):12459.
- [40]. Edlund M, Nair MK, Nair UP. Detection of vertical root fractures by using cone-beam computed tomography: a clinical study. *J Endod*. juin 2011;37(6):76872.
- [41]. Talwar S, Utneja S, Nawal RR, Kaushik A, Srivastava D, Oberoy SS. Role of Cone-beam Computed Tomography in Diagnosis of Vertical Root Fractures: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Endod*. janv 2016;42(1):1224.

- [42]. Tang L, Zhou X, Wang Y, Zhang L, Zheng Q, Huang D. Detection of vertical root fracture using cone beam computed tomography: report of two cases. *Dent Traumatol.* déc 2011;27(6):4848.
- [43]. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, van der Stelt P, Wesselink PR. Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth by a cone beam computed tomography scan. *J Endod.* 2009;35(5):719- 722.
- [44]. Chen M, Fu K, Qiao F, Zhang X, Fan Y, Wang L, et al. Predicting extension of cracks to the root from the dimensions in the crown: A preliminary in vitro study. *J Am Dent Assoc.* 2017;148(10):73742.
- [45]. Bellaïche N. Guide pratique du Cone Beam en imagerie dento-maxillaire. France. Editions Cdp. Nov 2016. 400p.
- [46]. Elsaltani MH, Farid MM, Eldin Ashmawy MS. Detection of Simulated Vertical Root Fractures: Which Cone-beam Computed Tomographic System Is the Most Accurate? *J Endod.* juin 2016;42(6):9727.
- [47]. Janani K, Sandhya R. A survey on skills for cone beam computed tomography interpretation among endodontists for endodontic treatment procedure. *Indian J Dent Res.* déc 2019;30(6):8348.
- [48]. Oyama A, Kumagai S, Arai N, Takata T, Saikawa Y, Shiraishi K, et al. Image quality improvement in cone-beam CT using the super-resolution technique. *J Radiat Res.* 1 juill 2018;59(4):50110.
- [49]. Venskutonis T, Plotino G, Juodzbaly G, Mickevičienė L. The importance of cone-beam computed tomography in the management of endodontic problems: a review of the literature. *J Endod.* déc 2014;40(12):1895901.
- [50]. Monika Machoy,, Julia Seeliger, Liliana Szyszka-Sommerfeld, Robert Koprowski, Tomasz Gedrange, and Krzysztof Woźniak. The Use of Optical Coherence Tomography in Dental Diagnostics: A State-of-the-Art Review. *J Healthc Eng.* 2017. 2017: 7560645.
- [51]. Hsieh Y-S, Ho Y-C, Lee S-Y, Chuang C-C, Tsai J, Lin K-F, et al. Dental Optical Coherence Tomography. *Sensors (Basel).* 12 juill 2013;13(7):892849.
- [52]. Huang D, Swanson EA, Lin CP, Schuman JS, Stinson WG, Chang W, et al. Optical Coherence Tomography. *Science.* 22 nov 1991;254(5035):117881.
- [53]. Kim J-M, Kang S-R, Yi W-J. Automatic detection of tooth cracks in optical coherence tomography images. *J Periodontal Implant Sci.* févr 2017;47(1):4150.
- [54]. Chia-Wei Sun, Yi-Ching Ho, and Shyh-Yuan Lee. Sensing of Tooth Microleakage Based on Dental Optical Coherence Tomography. *Jui-che Tsai.* 2015. 6p.
- [55]. Lee S-H, Lee J-J, Chung H-J, Park J-T, Kim H-J. Dental optical coherence tomography: new potential diagnostic system for cracked-tooth syndrome. *Surg Radiol Anat.* janv 2016;38(1):4954.

- [56]. Dua D, Dua A. Reconstruction and Intentional Replantation of a Maxillary Central Incisor with a Complete Vertical Root Fracture: A Rare Case Report with Three Years Follow up. *J Clin Diagn Res.* sept 2015;9(9):ZD069.
- [57]. Segarra MS, Shimada Y, Sadr A, Sumi Y, Tagami J. Three-Dimensional Analysis of Enamel Crack Behavior Using Optical Coherence Tomography. *J Dent Res.* 2017;96(3):308- 314.
- [58]. Oliveira BP, Câmara AC, Duarte DA, Gomes ASL, Heck RJ, Antonino ACD, et al. Detection of Apical Root Cracks Using Spectral Domain and Swept-source Optical Coherence Tomography. *J Endod.* juill 2017;43(7):114851.
- [59]. Shemesh H, van Soest G, Wu M-K, Wesselink PR. Diagnosis of vertical root fractures with optical coherence tomography. *J Endod.* juin 2008;34(6):73942.
- [60]. Rajesh Chavda, Francesco Mannocci, Manoharan Andiappan, Shanon Patel. Comparing the in Vivo Diagnostic Accuracy of Digital Periapical Radiography With Cone-Beam Computed Tomography for the Detection of Vertical Root Fracture. *J. Endod.* Oct 2014. 40(10):1524-9.
- [61]. Shemesh H, van Soest G, Wu MK, Wesselink PR. Diagnosis of vertical root fractures with optical coherence tomography. *J Endod.* 2008;34(6):739- 742.
- [62]. Imai K, Shimada Y, Sadr A, Sumi Y, Tagami J. Noninvasive cross-sectional visualization of enamel cracks by optical coherence tomography in vitro. *J Endod.* 2012;38(9):1269- 1274
- [63]. Shimada Y, Sadr A, Sumi Y, Tagami J. Application of Optical Coherence Tomography (OCT) for Diagnosis of Caries, Cracks, and Defects of Restorations. *Curr Oral Health Rep.* 2015;2(2):7380.
- [64]. Teyssandier MJ. Absorption par les tissus et pénétration des rayonnements. ELSEVIER MASSON. 1987. Vol. 14,5. 219223 p.
- [65]. Schneider H, Park K-J, Häfer M, Rüger C, Schmalz G, Krause F, et al. Dental Applications of Optical Coherence Tomography (OCT) in Cariology. *Applied Sciences.* mai 2017;7(5):472.
- [66]. C Chen, W X Zhang, L Y Qi , X J Gao, Y H Liang. Detection of root cracks after root canal preparation using rotary NiTi systems by optical coherence tomography (OCT) scan. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* 2018 Jun. 18;50(3):547-552.
- [67]. Culjat MO, Singh RS, Brown ER, Neurgaonkar RR, Yoon DC, White SN. Ultrasound crack detection in a simulated human tooth. *Dentomaxillofac Radiol.* 2005;34(2):80- 85.
- [68]. Demirturk Kocasarac H, Angelopoulos C. Ultrasound in Dentistry: Toward a Future of Radiation-Free Imaging. *Dent Clin North Am.* juill 2018;62(3):4819.
- [69]. Kapralos V, Koutroulis A, Irinakakis E, Kouros P, Lyroudia K, Pitas I, et al. Digital subtraction radiography in detection of vertical root fractures: accuracy evaluation for root canal filling, fracture orientation and width variables. An ex-vivo study. *Clin Oral Investig.* 21 févr 2020.

- [70]. Yuan M, Gao AT, Wang TM, Liang JH, Aihemati GB, Cao Y, et al. Using Meglumine Diatrizoate to improve the accuracy of diagnosis of cracked teeth on Cone-beam CT images. *Int Endod J*. mai 2020;53(5):70914.
- [71]. Tien-Yu Hsiao, Shyh-Yuan Lee, and Chia-Wei Sun. Optical Polarimetric Detection for Dental Hard Tissue Diseases Characterization Sensors (*Basel*). 2019 Nov. 19(22): 4971.
- [72]. Schuurmans TJ, Nixdorf DR, Idiyatullin DS, Law AS, Barsness BD, Roach SH, et al. Accuracy and Reliability of Root Crack and Fracture Detection in Teeth Using Magnetic Resonance Imaging. *J Endod*. juin 2019;45(6):750-755.e2.
- [73]. Okaguchi M, Kuo T, Ho Y-C. Successful treatment of vertical root fracture through intentional replantation and root fragment bonding with 4-META/MMA-TBB resin. *J Formos Med Assoc*. mars 2019;118(3):6718.
- [74]. Özer SY, Ünlü G, Değer Y. Diagnosis and treatment of endodontically treated teeth with vertical root fracture: three case reports with two-year follow-up. *J Endod*. janv 2011;37(1):97102.

RACHIDI LEILA

Diagnostic de la fêlure dentaire : Peut-on avoir recours à l'imagerie médicale ?Résumé :

La fêlure dentaire est une pathologie à laquelle le chirurgien dentiste est de plus en plus confronté. Son épaisseur microscopique, les multiples formes qu'elle peut prendre et sa symptomatologie diverse compliquent l'établissement du bon diagnostic, qui se fait parfois par défaut. Afin d'offrir au patient le traitement le plus approprié, le praticien doit évaluer tous les paramètres permettant de définir le pronostic de la dent. Il se doit de mettre en oeuvre tous les moyens à sa disposition, en alliant examen clinique et complémentaire. Ainsi se pose la question de l'indication d'examen d'imagerie pour la recherche de fêlure ou des conséquences de celle-ci, sans pour autant nuire au patient par l'utilisation de rayons X non justifiée. Il est à définir les éléments concrets que nous apporte l'imagerie, directement ou indirectement, par des méthodes courantes, mais aussi celles innovantes qui nous seront accessibles dans le futur comme la tomographie à cohérence optique.

Mots clés : fêlure dentaire, diagnostic, imagerie médicale, tomographie à cohérence optique

Jury :

Monsieur le Professeur FARGE Pierre	Président
<u>Monsieur le Docteur FORTIN Thomas</u>	<u>Assesseur</u>
<u>Madame le Docteur BOUSSETTA Faouzia</u>	<u>Assesseur</u>
Monsieur le Professeur ROBIN Olivier	Assesseur
Madame le Docteur TAFROUNT Cheraz	Assesseur

Adresse de l'auteur : RACHIDI Leïla

175, rue du village

38140 LA MURETTE