

UNIVERSITE DE STRASBOURG
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2017

N° 26

THESE

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 16/05/2017

par

RAFFLENBEUL Frédéric
né le 11/02/1991 à BAD SODEN AM TAUNUS

**LES RÉSORPTIONS RADICULAIRES
DES DENTS ADJACENTES AUX
CANINES MAXILLAIRES INCLUSES**

Président : Professeur MINOUX Maryline
Assesseurs : Docteur BAHI-GROSS Sophie
Docteur BOLENDER Yves
Docteur GROS Catherine-Isabelle

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE DE STRASBOURG

Doyen : Professeur C. TADDEI

Doyens honoraires : Professeur R. FRANK
Professeur M. LEIZE
Professeur Y. HAIKEL

Professeurs émérites : Professeur W. BACON
Professeur A. FEKI
Professeur H. TENENBAUM

Responsable des Services Administratifs : Mme F. DITZ-MOUGEL

Professeurs des Universités

V. BALL	Ingénierie Chimique, Energétique - Génie des Procédés
A. BLOCH-ZUPAN	Sciences Biologiques
F. CLAUSS	Odontologie Pédiatrique
J-L. DAVIDEAU	Parodontologie
Y. HAÏKEL	Odontologie Conservatrice - Endodontie
O. HUCK	Parodontologie
M-C. MANIERE	Odontologie Pédiatrique
F. MEYER	Sciences Biologiques
M. MINOUX	Odontologie Conservatrice - Endodontie
A-M. MUSSET	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
C. TADDEI	Prothèses
B. WALTER	Prothèses

Maîtres de Conférences

S. BAHİ-GROSS	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
L. BIGEARD	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
Y. BOLENDER	Orthopédie Dento-Faciale
F. BORNERT	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
A. BOUKARI	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
O. ETIENNE	Prothèses
F. FIORETTI	Odontologie Conservatrice - Endodontie
M. FREYMANN	Odontologie Conservatrice - Endodontie
C-I. GROS	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique - Radiologie
R. JOERGER	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique - Radiologie
S. JUNG	Sciences Biologiques
N. LADHARI	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique - Radiologie
F. OBRY	Odontologie Pédiatrique
R. SERFATY	Odontologie Conservatrice - Endodontie
M. SOELL	Parodontologie
E. WALTMANN	Prothèses

Equipes de Recherche

N. JESSEL	INSERM / Directeur de Recherche
Ph. LAVALLE	INSERM / Directeur de Recherche
H. LESOT	CNRS / Directeur de Recherche
M-H. METZ-BOUTIGUE	INSERM / Directeur de Recherche
P. SCHAAF	UdS / Professeur des Universités / Directeur d'Unité
B. SENGER	INSERM / Directeur de Recherche

A Madame le Professeur Maryline MINOUX

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier

Unité Fonctionnelle d'Odontologie Conservatrice – Endodontie

*Merci de m'avoir fait l'honneur de présider ce jury de thèse.
Veuillez trouver ici l'expression de ma reconnaissance et
sincère estime.*

A Madame le Docteur Sophie BAHI-GROSS

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier

Unité Fonctionnelle de Pathologie – Chirurgie Buccales

*Merci de m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury de thèse.
Veuillez trouver ici mes sentiments respectueux.*

A Monsieur le Docteur Yves BOLENDER

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier

Unité Fonctionnelle d'Orthopédie Dento-Faciale

Merci de m'avoir fait l'honneur de diriger ce travail de thèse.

Merci pour votre implication quotidienne dans ma formation

et de m'avoir, entre autres, appris à être critique.

Veillez trouver ici mes sincères remerciements et le

témoignage de mon plus grand respect.

A Madame le Docteur Catherine-Isabelle GROS

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier

Unité Fonctionnelle de Radiologie

*Merci de m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury de thèse.
Merci pour votre aide précieuse et votre disponibilité au cours
de ce projet tout comme pour le mémoire.
Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.*

*A ma famille, à mes amis et tous ceux qui
m'ont accompagné jusqu'ici.*

UNIVERSITE DE STRASBOURG
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2017

N° 26

THESE

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 16/05/2017

par

RAFFLENBEUL Frédéric
né le 11/02/1991 à BAD SODEN AM TAUNUS

**LES RÉSORPTIONS RADICULAIRES
DES DENTS ADJACENTES AUX
CANINES MAXILLAIRES INCLUSES**

Président : Professeur MINOUX Maryline
Assesseurs : Docteur BAHI-GROSS Sophie
Docteur BOLENDER Yves
Docteur GROS Catherine-Isabelle

Sommaire

Introduction	5
I. Dépistage et interception de l'inclusion des canines maxillaires en denture mixte	6
1. Définitions	6
2. Epidémiologie	6
3. Age normal d'éruption des canines maxillaires	8
4. Etiologies	9
a. Canines palatines	9
b. Canines vestibulaires	11
c. Autres facteurs locaux	12
5. Dépistage de l'inclusion	12
a. Signes cliniques	12
b. Facteurs prédictifs radiologiques	13
6. Interception	16
a. Avulsion de la canine temporaire	16
b. Disjonction maxillaire rapide, traction extra-orale associées ou non à l'avulsion de la canine temporaire	19
c. Autres mesures interceptives	21
7. Complications liées à l'évolution de l'inclusion	22
II. Résorptions radiculaires induites par les canines incluses maxillaires	23
1. Définition	23
2. Epidémiologie	23
a. Incidence des résorptions radiculaires	23
b. Dents concernées, localisation et sévérité	26
3. Mécanisme biologique et facteurs prédictifs	28
a. Mécanisme biologique	28
b. Facteurs prédictifs	29
4. Diagnostic clinique	31
5. Diagnostic radiologique	31
a. Techniques bidimensionnelles	31
b. Techniques tridimensionnelles	32
c. Comparaison des techniques 2D et 3D	42

d. Recommandations pour l'exploration radiologique des résorptions radiculaires induites par les canines incluses	46
III. Traitement en cas d'échec d'interception de l'inclusion canine	50
1. Objectifs et plan de traitement	50
2. Préparation orthodontique	51
a. Préparation d'ancrage	51
b. Ouverture de l'espace	53
3. Abord chirurgical et gestion parodontale	53
a. Abord vestibulaire	53
b. Abord palatin	55
4. Mise en place orthodontique	55
a. Phase de traction	55
b. Finitions et redressement radiculaire	57
5. Résultat esthétique et parodontal	58
a. Résultat parodontal	58
b. Résultat esthétique	59
6. Long terme des dents résorbées	60
Conclusions	62
Annexe : matériel et méthodes du mémoire	65
Références bibliographiques	68

Table des figures et tableaux

Figure 1 : Intervalles d'âge où 68,26% d'enfants caucasiens voient différentes dents permanentes faire éruption [17]	9
Figure 2 : Palpation et éruption des canines maxillaires chez 505 enfants [16]	13
Figure 3 : Représentation schématique de la position de la pointe cuspidienne dans les secteurs 1-5 [40]	14
Figure 4 : Représentation schématique de l'inclinaison mésiale « alpha » et de la distance jusqu'au plan occlusal « d » [40]	15
Figure 5 : Représentation schématique de la normalisation des canines permanentes maxillaires en voie d'inclusion après avulsion de la canine temporaire [40]	17
Figure 6 : Variables mesurées dans les 3 plans de l'espace sur CBCT dans l'étude de Naoumova et collaborateurs [52]	19
Figure 7 : Représentation schématique de la localisation des résorptions radiculaires dans le sens vertical selon Ericson et Kurol [87]	27
Figure 8 : Représentation schématique des résorptions radiculaires observées au niveau d'une incisive centrale et latérale maxillaire avec illustration des différents niveaux de coupes [99]	33
Figure 9 : Coupes sagittale et axiale de CBCT montrant une résorption radiculaire sévère de 21 par 23 incluse	35
Figure 10 : Coupes axiales d'un crâne sec humain obtenues avec 8 protocoles CBCT différents [119]	38
Figure 11 : Coupes para-sagittales d'une articulation temporo mandibulaire gauche illustrant l'effet d'une modification de la tension (kV) et du courant (mA) sur la qualité des images obtenues. Dans cet exemple on observe peu d'améliorations de la qualité subjective des images au-delà de 74 kVp et 6,3 mA malgré une augmentation considérable de la dose délivrée [120]	39
Figure 12 : Arbre décisionnel pour l'exploration radiologique des canines incluses maxillaires et des éventuelles résorptions radiculaires des dents adjacentes	48
Figure 13 : Utilisation d'une mini-vis vestibulaire comme ancrage direct pour la traction d'une 13 incluse [161]	52
Figure 14 : Choix des techniques d'abord vestibulaire d'une canine incluse en fonction des différentes situations cliniques	54
Figure 15 : Forces et moments exercés au niveau des attaches lors de l'égression d'une canine par un cantilever [159, 174, 175]	57
Tableau 1 : Récapitulatif des publications portant sur différents moyens d'interception des canines incluses palatines	20
Tableau 2 : Récapitulatif des taux de résorption des dents adjacentes aux canines maxillaires incluses	24
Tableau 3 : Comparaison de l'efficacité du diagnostic de résorption radiculaire externe entre des techniques bi- et tridimensionnelles	43

Introduction

L'inclusion des canines maxillaires est une anomalie d'éruption qui affecte 1 à 3% de la population générale. Elle peut être à l'origine de différentes complications dont la plus fréquente et la plus redoutée est la résorption radiculaire des dents adjacentes (incisives latérales, centrales et prémolaires). Le diagnostic de ce phénomène est rarement clinique et se fait essentiellement radiologiquement ; l'apparition des techniques d'imagerie dento-maxillo-faciale tridimensionnelles a accru le nombre de cas dépistés de résorptions radiculaires. Ainsi jusqu'à 70% des canines maxillaires incluses seraient à l'origine de résorptions radiculaires des dents adjacentes selon certaines études.

Le but de ce travail de thèse est de faire l'état des lieux des connaissances sur le diagnostic, la prévalence des résorptions radiculaires des dents adjacentes aux canines maxillaires incluses, le moment opportun de la réalisation de la tomographie volumique à faisceau conique (CBCT), l'attitude thérapeutique face aux résorptions (en première et deuxième intentions) ainsi que le devenir au long terme des dents résorbées.

Nous aborderons dans un premier temps le dépistage de l'inclusion des canines maxillaires en denture mixte ainsi que les moyens mis en œuvre afin de résoudre cette inclusion de façon précoce. Dans un second temps nous étudierons les résorptions radiculaires induites par les canines maxillaires incluses : le mécanisme biologique de résorption, leur prévalence, le diagnostic clinique et surtout les différentes modalités du diagnostic radiologique. Nous concluons par le traitement de l'inclusion canine et des résorptions radiculaires associées, en cas d'échec des mesures d'interception en denture mixte.

Ce travail de thèse précède une étude clinique dans le cadre d'un mémoire de spécialité en orthopédie dento-faciale, dont le but est de déterminer la prévalence des résorptions radiculaires des dents adjacentes (incisives latérales + centrales, prémolaires) lors de l'éruption ectopique des canines maxillaires dans une population d'âge orthodontique avant tout traitement orthodontique.

I. Dépistage et interception de l'inclusion des canines maxillaires en denture mixte

1. Définitions

L'évolution vers l'inclusion d'une dent en cours d'éruption est un processus dynamique. Différents termes sont communément employés afin de décrire l'état de la dent telle qu'elle apparaît à l'observateur à un moment donné.

Dent retenue : « Dent immature gênée dans son éruption qui conserve un potentiel évolutif. L'édification radiculaire n'est pas terminée (apex ouvert). Avec la maturation de la dent, la rétention évolue vers l'inclusion ou l'enclavement. » [1]

Dent enclavée : « Dent mature dont l'éruption est arrêtée, le sac folliculaire étant en communication avec la cavité buccale. » [2] « Dent mature, incluse ou non, dont l'éruption s'arrête du fait d'un obstacle. L'obstacle étant éliminé, une dent qui conserve un potentiel évolutif peut poursuivre son éruption. » [1]

Dent incluse : « Dent mature dont le sac folliculaire n'est pas en communication avec la cavité orale. » [2]

Dent ectopique : « Dent placée ou évoluant hors de la courbe de l'arcade, mais située dans le tissu osseux des mâchoires. » [2]

De manière générale, le terme de « canine maxillaire incluse » est utilisé pour désigner l'ensemble des canines maxillaires présentant une anomalie du chemin d'éruption pouvant aboutir ultimement à leur inclusion.

2. Epidémiologie

L'inclusion des canines permanentes maxillaires est la plus fréquente après celle des 3èmes molaires [3, 4, 5]. Sa prévalence au sein de la population générale peut varier

de moins de 1% à 3% [6, 7, 8]. En revanche ces pourcentages varient si la population étudiée est une population pouvant être qualifiée d'orthodontique : Thilander et Myrberg rencontrent 2,2% d'inclusion des canines maxillaires dans la population générale (5459 enfants étudiés correspondant à 96% des enfants du groupe d'âge) contre 12,9% dans une population de 939 enfants du même groupe d'âge adressés au service d'orthodontie [4].

Il est à noter que des différences de prévalence sont observées selon les groupes ethniques étudiés, particulièrement entre des groupes caucasiens et des groupes asiatiques [8, 9]. Ainsi, Thilander et Jakobsson définissent une prévalence de 1,8% au sein de leur échantillon islandais [10] et Ericson et Kurol une prévalence de 1,7% parmi l'échantillon suédois étudié [11] alors que Takahama n'atteint qu'une prévalence d'inclusion de canine maxillaire de 0,27% dans son groupe japonais [12].

Les études s'accordent sur l'existence d'un dimorphisme sexuel dans la répartition des canines incluses maxillaires, les femmes étant plus touchées que les hommes : Peck et collaborateurs décrivent des ratios femme/homme allant de 1,3 à 3,2 pour 1 [8] et Becker décrit des ratios moyens de 2,3 à 3 pour 1 [9].

Les inclusions palatines et vestibulaires correspondent à des entités différentes à part entière, dont les prévalences ne sont pas égales. L'inclusion palatine est généralement plus fréquente, comme par exemple dans l'étude d'Ericson et Kurol, qui rapportent 80% d'inclusion palatine contre seulement 20% d'inclusion vestibulaire [13, 7]. L'inclusion vestibulaire est quant à elle plus fréquente dans les populations asiatiques, pouvant atteindre 45% [6, 14]. Ces chiffres ont cependant tendance à varier et à exhiber des différences moins marquées depuis l'apparition des examens radiologiques tridimensionnels (scanner clinique classique, tomographie volumique à faisceau conique) permettant un diagnostic positionnel plus précis et une classification au sein d'une 3^{ème} catégorie, à savoir les canines incluses en position centrale [6].

Pour finir, l'inclusion de la canine maxillaire est le plus souvent unilatérale [13, 7], mais une inclusion palatine bilatérale peut être présente dans 17 à 45% des cas [8].

3. Age normal d'éruption des canines maxillaires

Les germes des canines maxillaires permanentes se développent dans les cryptes osseuses les plus hautes et internes du maxillaire, à proximité de la paroi latérale des cavités nasales et en avant des cavités antrales [15]. Leur développement est tardif, le chemin d'éruption long, ce qui explique leur apparition dans la cavité buccale après celle des dents adjacentes et avant celle des deuxièmes molaires permanentes [16, 17, 18]. La séquence d'éruption « première prémolaire – seconde prémolaire – canine – seconde molaire » est la plus décrite, même s'il existe des variations, comme par exemple « première prémolaire – canine – seconde prémolaire – seconde molaire » [18, 19].

Hurme, dans son étude portant sur environ 93 000 enfants d'origine caucasienne, définit l'âge moyen d'éruption des dents permanentes ainsi que l'écart-type associé ; additionner ou soustraire ce dernier à l'âge moyen d'éruption permet d'obtenir un intervalle au sein duquel une certaine dent émerge dans la cavité buccale chez 68,26% des enfants [17]. Ces données sont résumées dans un diagramme différenciant les garçons et les filles (Figure 1).

Il définit les âges d'éruption moyens suivants des canines maxillaires : 11,69 ans +/- 1,37 pour les garçons (soit un intervalle allant de 10 ans et 4 mois à 13 ans et 1 mois) et 10,98 ans +/- 1,37 pour les filles (soit un intervalle allant de 9 ans et 7 mois à 12 ans et 4 mois), les filles étant plus précoces que les garçons de 8 mois environ [17].

Rousset et collaborateurs mettent à jour en 2003 les données des tables d'Hurme après avoir analysé les documents de 574 enfants et adolescents français [19]. L'âge moyen d'éruption des canines maxillaires est plus précoce dans cet échantillon contemporain : 11,08 ans +/- 0,42 pour les garçons et 10,58 ans +/- 0,83 pour les filles. On note également que les écarts-types sont plus réduits.

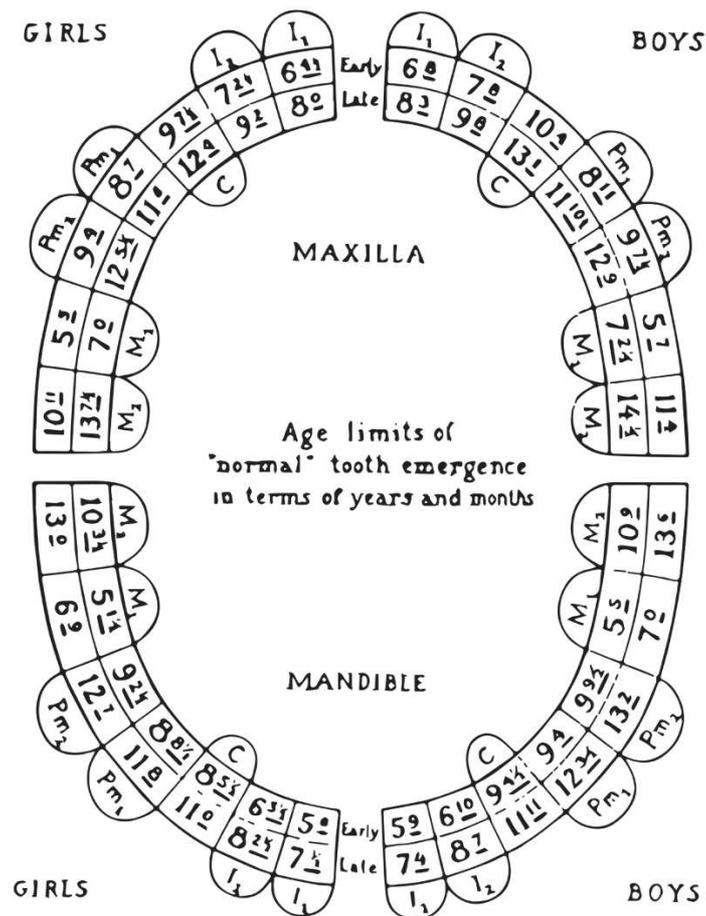


Figure 1 : Intervalles d'âge où 68,26% d'enfants caucasiens voient différentes dents permanentes faire éruption [17]

4. Etiologies

Il faut tout d'abord distinguer les étiologies expliquant l'inclusion palatine des canines maxillaires, de celles à l'origine d'inclusions vestibulaires [8, 20].

a. Canines palatines

Depuis des décennies et jusqu'à ce jour, deux théories principales concernant l'étiologie des canines incluses palatines s'opposent dans la littérature orthodontique : la théorie génétique défendue par Peck et collaborateurs [21] et la théorie du guidage principalement soutenue par Becker et collaborateurs [3].

▪ **La théorie génétique**

De nombreuses études témoignent d'associations existantes entre l'inclusion palatine des canines maxillaires et des anomalies dentaires d'origine génétique : agénésies et anomalies de morphologie des incisives latérales maxillaires, agénésies de molaires et prémolaires, infraclusions des molaires temporaires, retards d'éruption et microdonties [21, 22, 23, 24, 25, 26].

En 1994, Peck et collaborateurs justifient leur hypothèse génétique par cinq arguments [8, 27] :

- la présence concomitante d'anomalies dentaires
- les taux élevés d'inclusions bilatérales
- le dimorphisme sexuel constant
- le caractère héréditaire de l'inclusion palatine dans certaines familles
- les différences de prévalence entre les groupes ethniques.

Des études récentes portant sur des populations isolées génétiquement confirment également cette théorie [28, 29]. Camilleri et collaborateurs, après établissement des pedigrees de patients présentant une inclusion canine palatine, suspectent une étiologie génétique impliquant un seul locus avec une transmission autosomique dominante et une pénétrance incomplète [28]. Un gène précis n'a pas encore pu être identifié et il est nécessaire de poursuivre les recherches. Les auteurs soulignent toutefois l'existence de facteurs environnementaux et épigénétiques influant sur l'expression du phénotype [21, 28].

▪ **La théorie du guidage**

Broadbent est le premier à décrire le phénomène normal d'éruption des canines maxillaires : vers l'âge de 8 ans elles entretiennent des rapports étroits avec la face distale du tiers apical des racines des incisives latérales, puis pendant les années suivantes elles évoluent en direction occlusale guidées par cette même face distale [30]. L'incisive latérale détient donc un rôle majeur et toute perturbation, même minime, pourrait avoir des conséquences sur le chemin d'éruption des canines et aboutir à leur inclusion [3].

Becker et collaborateurs, dans une étude portant sur la morphologie des incisives latérales adjacentes aux canines incluses palatines, trouvent une taille réduite dans 25% des cas, une incisive riziforme dans 17% et son agénésie dans 5,5% des cas ; la morphologie n'est normale que dans 52,3% des cas contre 93% pour la population générale [31]. Le trait plus fréquent est donc l'anomalie de forme de l'incisive latérale plutôt que son agénésie. Cette équipe démontre également que les racines des latérales adjacentes aux canines palatines sont plus courtes et se développent plus tardivement que leurs homologues en absence d'inclusion canine [32]. Liuk et collaborateurs confirment la réduction de la longueur radiculaire par des mesures effectuées sur CBCT [33].

L'ensemble de ces résultats conduisent Becker à formuler la théorie suivante : en cas d'anomalie de forme et de taille de l'incisive latérale, son édification radiculaire est retardée et sa racine ne peut, vers l'âge de 9-10 ans, assurer son rôle de guidage de la canine. Cette dernière peut alors évoluer selon une trajectoire plus palatine ; en cas d'agénésie de la latérale, la canine a la possibilité de se réorienter vestibulairement et de faire éruption, mais si l'incisive latérale est présente elle va constituer un obstacle, empêchant le changement de chemin et conduisant ainsi à une inclusion palatine de la canine [3, 9, 34]. C'est donc bien une perturbation de l'environnement immédiat de la canine ainsi qu'un manque de coordination chronologique entre les différents éléments qui peuvent conduire à l'apparition de l'inclusion.

L'étiologie précise expliquant l'inclusion palatine des canines maxillaires n'est donc pas établie à l'heure actuelle, cependant les deux théories détiennent sûrement chacune une part de la vérité d'une étiologie multifactorielle [35].

b. Canines vestibulaires

La cause principale expliquant l'inclusion vestibulaire des canines maxillaires semble quant à elle moins porter à débat. Jacoby en 1983 observe un manque d'espace ou un déficit transversal maxillaire dans 83% des cas d'inclusion vestibulaire alors que

l'espace est suffisant dans 85% des inclusions palatines [36]. Des études plus récentes, menées pour certaines à l'aide de mesures effectuées sur des clichés de tomographie volumique à faisceau conique [29, 37, 38], confirment le fait que l'inclusion vestibulaire est associée de manière significative à des déficits transversaux maxillaires et des dysharmonies dent-arcade.

c. Autres facteurs locaux

Enfin, d'autres facteurs locaux peuvent expliquer l'inclusion des canines maxillaires :

- obstruction locale : persistance de la canine temporaire, odontomes et dents surnuméraires, rotation mésio-vestibulaire de la première prémolaire à l'origine du contact de sa racine palatine avec la canine en cours d'éruption, inclusion d'une incisive centrale maxillaire [3, 7, 39]
- pathologie locale : granulome péri-apical lié à la nécrose de la canine temporaire, kyste radiculaire de la canine temporaire ou kyste folliculaire de la canine permanente, traumatisme dentaire ou facial [3, 7, 9]
- orientation / position anormale des germes des canines permanentes [3, 7, 9]
- fente alvéolo-palatine [7]

5. Dépistage de l'inclusion

Le dépistage en denture mixte d'une canine maxillaire en voie d'inclusion est essentiel afin de pouvoir entreprendre à temps les mesures interceptives.

a. Signes cliniques

La recherche d'éventuelles perturbations d'éruption des canines maxillaires doit débuter vers l'âge de 8 ans par l'inspection visuelle et la palpation vestibulaire et palatine des processus alvéolaires dans la région canine [7, 16].

Dans une étude portant sur le suivi longitudinal de l'éruption des canines maxillaires chez 505 enfants, Ericson et Kurol notent une chute de 29% à 5% du nombre de canines non palpables et n'ayant pas fait éruption entre l'âge de 10 et 11 ans (Figure 2). Cette période entre 10 et 11 ans constitue donc un âge critique et il faut avoir à

l'esprit de bien mettre en parallèle l'âge dentaire du patient avec son âge chronologique lors de l'examen clinique [16].

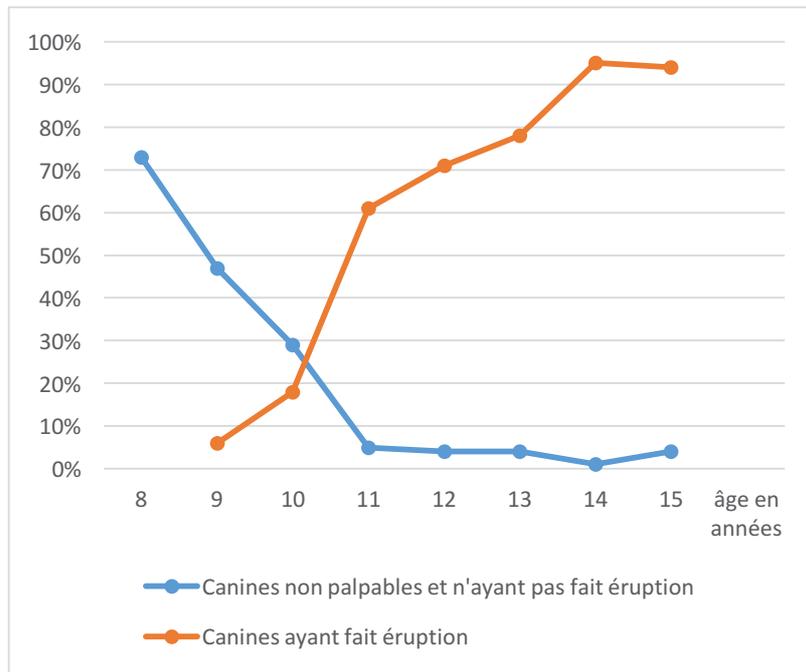


Figure 2 : Palpation et éruption des canines maxillaires chez 505 enfants [16]

Les signes cliniques suivants doivent alerter le praticien et l'inciter à entreprendre une exploration radiographique [7, 9, 16] :

- asymétrie de développement entre les côtés droit et gauche : palpation asymétrique de la voussure canine, persistance d'une canine temporaire
- absence de palpation de la voussure canine à partir de l'âge de 10-11 ans en cas de développement dentaire normal
- poursuite du stade du « vilain petit canard » décrit par Broadbent [30] au-delà de la durée normale, signant la non évolution en direction occlusale et distale des canines
- version corono-distale et vestibulaire marquée de l'incisive latérale
- présence d'une voussure palatine.

b. Facteurs prédictifs radiologiques

Dans l'étude d'Ericson et Kurol citée précédemment, les auteurs concluent que 8% des enfants nécessitent un examen radiologique complémentaire après l'âge de 10

ans [16], et qu'un examen radiologique est rarement utile dans le groupe des 8-9 ans du fait de la faible prédictibilité du chemin d'éruption de la canine [11].

Classiquement selon ces auteurs, un orthopantomogramme ainsi que des radiographies intra-orales péri-apicales selon deux incidences mésio-distales différentes sont réalisés en première intention, afin d'obtenir une indication sur la position vestibulo-palatine de la canine incluse [11]. Ces clichés sont simples d'accès et réalisables. Cependant les informations dans le plan vestibulo-palatin sont limitées et une exploration au moyen d'un examen tridimensionnel peut s'avérer nécessaire [9] ; le moment opportun pour effectuer cette analyse ainsi qu'un arbre décisionnel seront abordés ultérieurement dans ce travail.

Les variables les plus utilisées pour déterminer la position d'une canine sur un orthopantomogramme sont celles décrites par Ericson et Kurol en 1988 [40], à savoir :

- la position mésio-distale de la pointe cuspidienne par rapport aux racines des incisives latérale et centrale adjacentes (secteurs 1 à 5) (Figure 3)
- la distance « d » entre la pointe cuspidienne et le plan occlusal (Figure 4)
- l'angle « alpha » formé entre le grand axe de la canine et le plan sagittal médian.

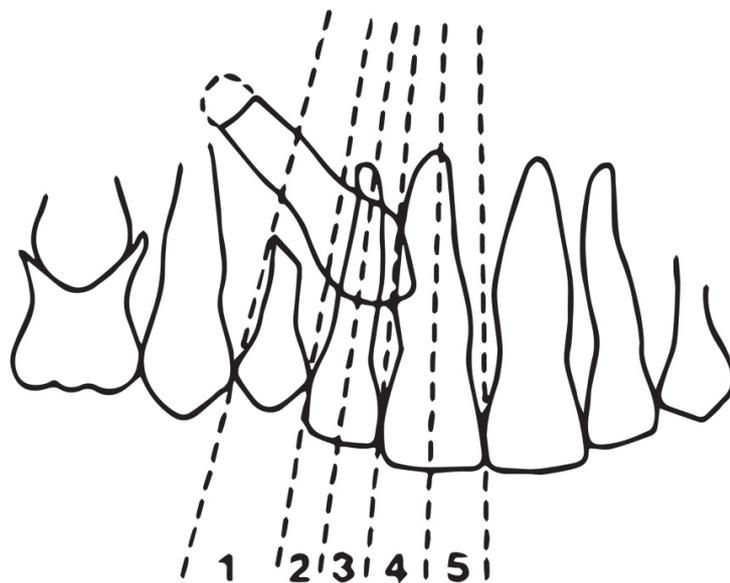


Figure 3 : Représentation schématique de la position de la pointe cuspidienne dans les secteurs 1-5 [40]

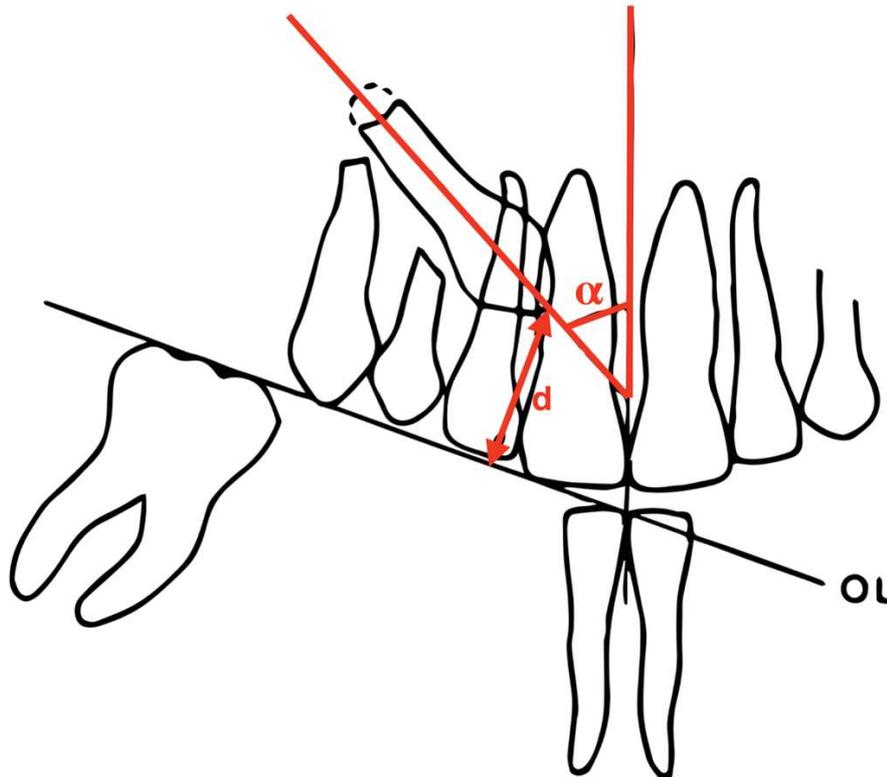


Figure 4 : Représentation schématique de l'inclinaison mésiale « alpha » et de la distance jusqu'au plan occlusal « d » [40]

Lindauer et collaborateurs détectent une différence significative en denture mixte entre la localisation de la pointe cuspidienne des canines destinées à être incluses en palatin et celle des canines qui feront éruption normalement : 78% des canines en voie d'inclusion se situent dans les secteurs 2-3-4 et 5 alors que seuls 4% des canines du groupe contrôle se trouvent dans ces mêmes secteurs [41]. Une autre étude vient confirmer ces résultats, 82% des canines allant ultimement être incluses se situent dans les secteurs 2-3-4 et 5 en denture mixte, avec un risque relatif d'inclusion multiplié par 9 pour chaque secteur supplémentaire ; l'angulation est également plus mésiale d'environ 12° pour les canines incluses mais n'a pas d'influence significative [42]. Sajani et King valident le risque significatif d'inclusion si la pointe cuspidienne dépasse le bord distal de l'incisive latérale à partir de 9 ans ; de plus à partir de 9 ans, les canines qui deviendront incluses adoptent une angulation alpha de plus en plus mésiale (28° à 9 ans et jusqu'à 45° à 14 ans) et restent éloignées du plan occlusal [43].

Les signes prédictifs radiologiques d'une inclusion sont donc les suivants :

- une superposition de la pointe cuspidienne avec la racine des incisives adjacentes, surtout si elle est plus mésiale que l'axe longitudinal de l'incisive latérale (secteurs 3-4 et 5)
- une angulation mésiale « alpha » au-delà de 25° et qui s'accroît avec le temps
- une distance « d » augmentée et qui ne diminue quasiment pas.

6. Interception

Après avoir dépisté une canine présentant un risque d'inclusion, le praticien dispose de différentes thérapeutiques interceptives afin de tenter d'éviter l'apparition de complications ainsi qu'un traitement généralement chirurgico-orthodontique, complexe, long et coûteux [44, 45, 46].

a. Avulsion de la canine temporaire

Cette option thérapeutique est déjà décrite dans des comptes-rendus de cas dès le début du 20^{ème} siècle [47].

Ce n'est qu'en 1988 qu'Ericson et Kurol testent cette modalité lors d'une étude de cohorte portant sur 46 canines en voie d'inclusion palatine chez 35 patients âgés de 10 à 13 ans [40]. Les auteurs étudient les changements du chemin d'éruption à l'aide d'un suivi radiologique et non l'éruption effective de la canine. 78% des canines normalisent leur chemin d'éruption dans les 12 premiers mois après avulsion de la canine temporaire. Ce pourcentage atteint 91% pour les canines n'ayant pas dépassé la moitié de l'incisive latérale et 64% pour celles en secteurs 3-4 et 5 (Figure 5) [40]. Aucun changement favorable ne survient après 12 mois, d'où la nécessité de réévaluer le plan de traitement à ce stade en absence d'amélioration de la position de la canine.

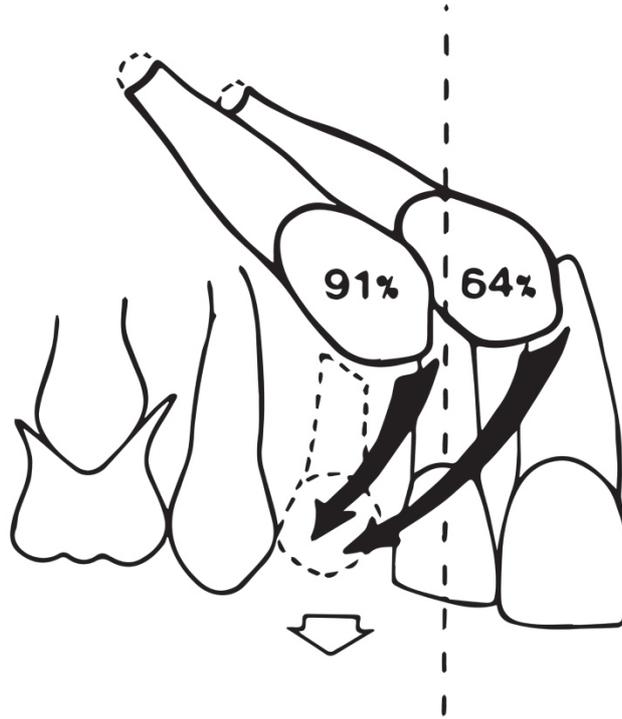


Figure 5 : Représentation schématique de la normalisation des canines permanentes maxillaires en voie d'inclusion après avulsion de la canine temporaire [40]

Cependant, l'absence de groupe contrôle, de randomisation ou de calcul de la taille de l'échantillon, ne permettent pas d'énoncer de recommandations à haut niveau de preuve en se basant sur cet article [48, 49].

Une étude plus récente de Bazargani et collaborateurs teste la même hypothèse dans un essai clinique randomisé sur 24 patients avec des canines en voie d'inclusion palatine bilatérales. La canine temporaire maxillaire est extraite de manière aléatoire dans un héli-maxillaire, le côté opposé servant alors de contrôle. Les auteurs trouvent une éruption de la canine permanente dans 67% des cas du côté test, contre 42% côté témoin [50].

Pour finir, le niveau de preuve est encore augmenté avec une étude publiée en 2015, incluant 67 patients et 89 canines palatines : le taux de succès de l'intervention est de 69% dans le groupe test et l'éruption spontanée s'est faite pour 39% des cas dans le groupe contrôle [51]. L'amélioration du chemin d'éruption se fait ici aussi lors des 6-12 premiers mois et l'éruption effective peut avoir lieu même après 12 mois : durée moyenne de 15,6 mois dans le groupe test. Il faut donc également réévaluer le plan

de traitement après 12 mois en absence de modification de la position de la canine permanente [51].

Cette thérapeutique est donc un moyen efficace d'interception d'une canine en voie d'inclusion palatine. Cependant, toutes les canines n'y répondent pas favorablement et les auteurs de ces différentes études ont alors cherché à établir des facteurs prédictifs de succès [40, 50, 52].

Ericson et Kurol ne donnent pas de valeurs seuil mais affirment que les résultats seraient d'autant plus favorables que le patient est jeune (10-11 ans) et le déplacement mésial de la canine réduit (secteurs 1 ou 2 sur l'orthopantomogramme) [40]. Bazargani et collaborateurs confirment que la réponse est meilleure pour un patient de 10-11 ans dont la canine se situe dans le secteurs 1-2 ou 3 sur l'orthopantomogramme [40].

Naoumova et collaborateurs sont les seuls à analyser des variables relevées sur CBCT. En plus d'être en accord avec le fait que les canines permanentes ont plus de chances de faire éruption après avulsion de la canine temporaire chez des patients jeunes et avec une inclusion peu évoluée, ils définissent des valeurs seuil pour distinguer les canines qui répondront à la thérapeutique interceptive de celles qui ne le feront pas [52]. La variable la plus déterminante est « distance pointe cuspidienne – ligne médiane », suivie de « distance pointe cuspidienne – milieu du couloir alvéolaire » puis « inclinaison mésiale » (Figure 6). Ils différencient ainsi [52] :

- canines permanentes faisant éruption spontanément sans nécessité d'avulsion de la canine temporaire : distance pointe cuspidienne – ligne médiane > 11 mm, distance pointe cuspidienne – couloir alvéolaire < 2,5 mm, inclinaison mésiale < 103°
- canines permanentes ne faisant pas éruption après avulsion de la canine temporaire (nécessitant donc d'emblée une exposition chirurgicale) : distance pointe cuspidienne – ligne médiane < 6 mm, distance pointe cuspidienne – couloir alvéolaire > 5 mm, inclinaison mésiale > 116°
- canines permanentes où l'avulsion de la canine temporaire est justifiée : distance pointe cuspidienne – ligne médiane entre 6 et 11 mm, distance pointe

cuspidienne – couloir alvéolaire entre 2,5 et 5 mm, inclinaison mésiale entre 103 et 116°.

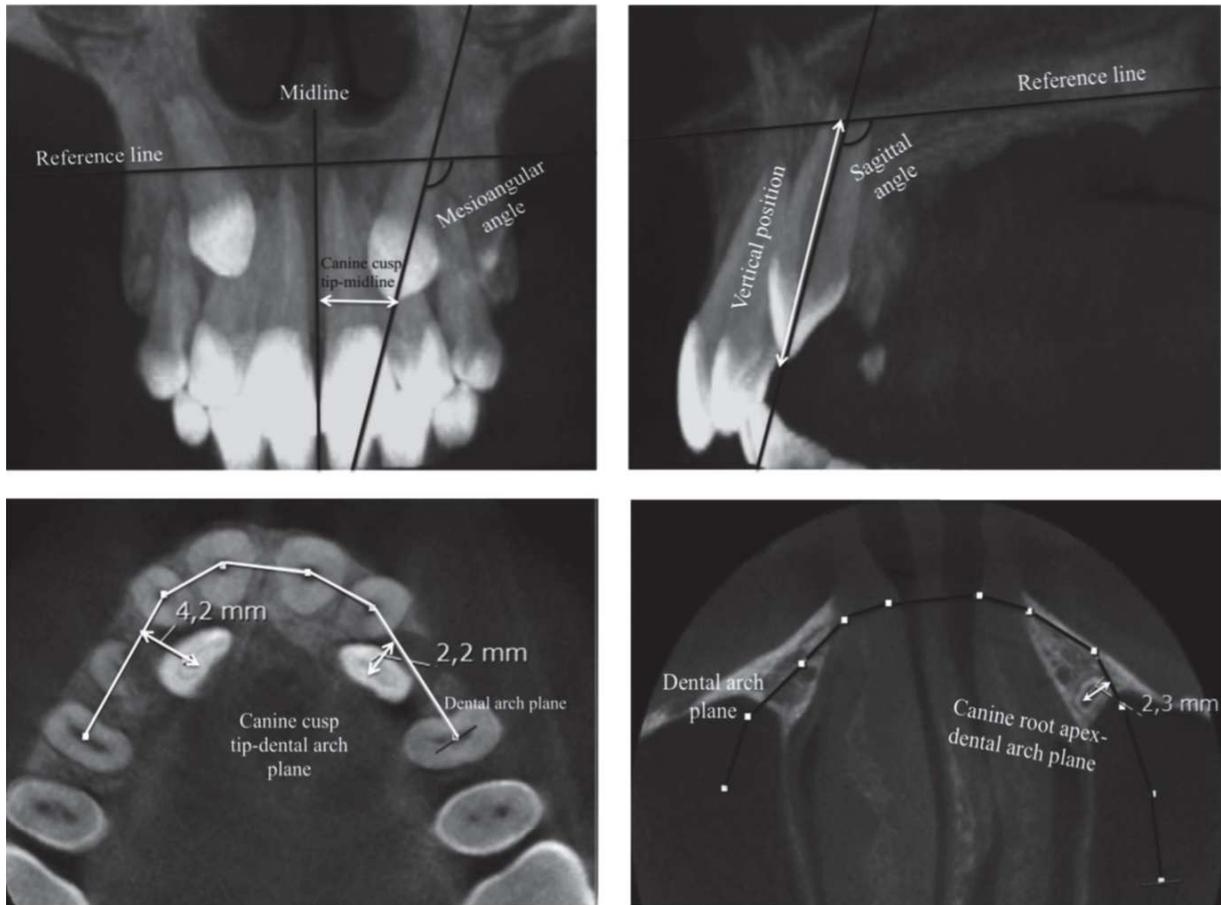


Figure 6 : Variables mesurées dans les 3 plans de l'espace sur CBCT dans l'étude de Naoumova et collaborateurs [52]

b. Disjonction maxillaire rapide, traction extra-orale associées ou non à l'avulsion de la canine temporaire

D'autres mesures interceptives ont été étudiées : la disjonction maxillaire seule [53] ou avec traction extra-orale concomitante [54], ainsi que les associations entre avulsion de la canine temporaire plus avulsion de la première molaire temporaire [55], disjonction maxillaire rapide [56, 57] ou traction extra-orale [58, 59].

Tableau 1 : Récapitulatif des publications portant sur différents moyens d'interception des canines incluses palatines

Publication	Type d'étude	Randomisation / calcul de puissance	Nombre de patients / perdus de vue	Age en années	Analyse en intention de traiter	Période d'observation (années)	Taux d'éruption des canines
Baccetti <i>et al.</i> (2009) [53]	Essai clinique prospectif contrôlé	NS	60 patients 6 perdus de vue DISJ : 32 / 42 CI GC : 22 / 31 CI	DISJ : 8,8 GC : 8,4	Non	DISJ : 4,4 GC : 4,1	DISJ : 65,7% GC : 13,6%
Armi <i>et al.</i> (2011) [54]	Essai clinique prospectif contrôlé	NS	64 patients 4 perdus de vue TEO : 17 / 25 CI DT : 21 / 30 CI GC : 22 / 26 CI	TEO : 11,9 DT : 11,1 GC : 11,6	Non	1,5 année	TEO : 82,3% DT : 85,7% GC : non indiqué
Baccetti <i>et al.</i> (2011) [56]	Essai clinique prospectif contrôlé	NS	120 patients 3 perdus de vue GED : 40 / 66 CI GEA : 24 / 36 CI GE : 24 / 34 CI GC : 29 / 42 CI	GED : 10,4 GEA : 10,7 GE : 11,1 GC : 10,4	Non	GED : 3,5 GEA : 2,7 GE : 2,2 GC : 3,1	GED : 80% GEA : 79,2% GE : 62,5% GC : 27,6%
Sigler <i>et al.</i> (2011) [57]	Essai clinique prospectif contrôlé	NS	70 patients 2 perdus de vue GED : 39 / 65 CI GC : 29 / 48 CI	GED : 10,4 GC : 10,4	Non	GED : 3,5 GC : 3,1	GED : 79,5% GC : 27,6%
Baccetti <i>et al.</i> (2008) [58]	Essai clinique prospectif contrôlé	NS	75 patients 5 perdus de vue GE : 23 / 25 CI GEF : 24 / 35 CI GC : 22 / 26 CI	GE : 11,7 GEF : 11,9 GC : 11,6	Non	1,5 année	GE : 65,2% GEF : 87,5% GC : 36%
Leonardi <i>et al.</i> 2004 [59]	Essai clinique prospectif contrôlé	NS	50 patients 7 perdus de vue GE : 11 / 14 CI GEF : 21 / 32 CI GC : 14 / 16 CI	GE : 11,6 GEF : 12,2 GC : 11,6	Non	4 années	GE : 50% GEF : 80% GC : 25% ?

NS, non spécifié ; DISJ, disjoncteur ; GC, groupe contrôle ; TEO, traction extra-orale ; DT, disjoncteur + traction extra-orale ; CI, canine incluse ; GED, groupe extraction canine temporaire + disjoncteur ; GEA, groupe extraction canine temporaire + arc transpalatin ; GE, groupe extraction canine temporaire ; GEF, groupe extraction canine temporaire + force extra-orale

L'ensemble des études citées sont des essais cliniques prospectifs contrôlés, sans randomisation ni calcul de puissance (Tableau 1). Les échantillons sont faibles, de tailles inégales et les critères de définition de l'inclusion de la canine palatine sont vagues. Il n'y a généralement pas d'analyse en aveugle des mesures et on note des incohérences dans les résultats publiés par Leonardi et collaborateurs concernant le groupe contrôle [59] ainsi qu'une absence de valeur pour le groupe contrôle chez Armi et collaborateurs [54]. Le niveau de preuve permettant d'affirmer l'efficacité des différentes procédures étudiées est donc faible [48, 49].

Enfin, Alessandri Bonetti et collaborateurs testent l'efficacité de l'avulsion des canines et premières molaires temporaires ; les canines permanentes font éruption dans 97,3% des cas contre 78,6% en cas d'avulsion de la canine temporaire uniquement [55].

c. Autres mesures interceptives

D'autres mesures interceptives, non spécifiques à l'inclusion des canines maxillaires, ont été décrites.

L'avulsion de dents surnuméraires ou d'odontomes sans autre intervention n'est associée que dans 36,2% des cas à une éruption spontanée des dents retenues, et ceci après une durée longue (21,5 mois), voire après plusieurs interventions chirurgicales [60]. Les auteurs recommandent de ce fait d'initier une traction orthodontique dans le même temps chirurgical [9, 60].

Les techniques de décompression kystique / marsupialisation et d'énucléation permettent également de corriger la position de germes refoulés [9, 61]. Il s'agit alors de surveiller l'éruption pendant plusieurs mois avant de débiter une éventuelle traction orthodontique en absence d'amélioration positionnelle [62, 63, 64]. Miyawaki et collaborateurs rapportent des vitesses d'éruption de 1,6 mm par mois et des corrections d'inclinaison de 8° par mois [62]. L'éruption spontanée se produit dans environ 70% des cas pour des prémolaires mandibulaires [61, 64, 65] contre seulement 36% pour les canines maxillaires d'après Hyomoto [61].

7. Complications liées à l'évolution de l'inclusion

Une canine incluse est généralement asymptomatique, mais elle peut cependant être à l'origine de différentes complications :

- dégénérescence kystique ou tumorale de la canine incluse [7]
- éruption ectopique
- résorption de remplacement de la canine incluse [9, 66, 67]
- ankylose
- résorption radiculaire des dents adjacentes [9, 66,].

A retenir

- **Les canines incluses maxillaires sont des anomalies d'éruption que l'on retrouve chez 1 à 3% de la population générale, plus fréquemment en palatin, les femmes étant plus touchées que les hommes.**
- **Les étiologies sont multiples et diffèrent entre les canines vestibulaires et palatines. L'inclusion de ces dernières serait due à une combinaison de facteurs génétiques et environnementaux.**
- **L'éruption normale se fait entre 9,5 et 13 ans.**
- **Les signes prédictifs d'inclusion sont : absence de palpation des canines après 11 ans, évolution asymétrique entre les deux côtés, superposition avec la racine des incisives adjacentes à l'orthopantomogramme.**
- **La thérapeutique interceptive principale est l'avulsion de la canine temporaire ; elle est d'autant plus efficace que le patient est jeune (10-11 ans) et que le déplacement mésial de la canine est réduit. Son but est d'éviter l'inclusion et l'apparition des complications associées dont la plus redoutée est la résorption radiculaire des dents adjacentes.**

II. Résorptions radiculaires induites par les canines incluses maxillaires

1. Définition

Les résorptions radiculaires induites par les canines maxillaires au niveau des dents permanentes adjacentes représentent un phénomène pathologique, aseptique et asymptomatique, se traduisant par la disparition progressive du cément puis de la dentine radiculaire [9, 66]. Elles correspondent selon Tronstad à des résorptions inflammatoires externes évolutives, induites par la pression qu'exerce la dent incluse au niveau radiculaire, expliquant également leur appellation de « résorptions par pression ». C'est cette pression qui entretient le phénomène de résorption [68]. Heithersay les classifie dans les résorptions d'origine traumatique par pression [69].

D'un point de vue sémantique, elles sont à distinguer des rhizalyses qui sont le phénomène de résorption physiologique des dents temporaires [2].

2. Epidémiologie

La résorption radiculaire d'une incisive adjacente à une canine incluse maxillaire est déjà décrite dans un compte-rendu de cas datant de 1936 [47]. Les premières études rapportent des taux d'incidence de 12% de résorptions d'incisives associées aux canines incluses, diagnostiquées à l'aide de techniques d'imagerie bidimensionnelles et de polytomographie [13]. L'avènement des techniques d'imagerie dento-maxillo-faciale tridimensionnelles telles que le scanner clinique classique (*multi-slice computed tomography* (MSCT)) et la tomographie volumique à faisceau conique, a entraîné une augmentation du nombre de cas détectés, expliquant ainsi des taux d'incidence de 70% dans des publications récentes [9].

a. Incidence des résorptions radiculaires

Les résultats des différents travaux étudiant les incidences des résorptions radiculaires identifiées par imagerie tridimensionnelle et induites par les canines incluses maxillaires, sont résumés dans le tableau suivant (Tableau 2).

Tableau 2 : Récapitulatif des taux de résorption des dents adjacentes aux canines maxillaires incluses

Publication	Moyen d'étude	Nombre de patients + canines	Age moyen + intervalle en années	Avant tout traitement ODF	Taux de résorptions en %				Sévérité des résorptions en %		
					Tot	IL	IC	PM1	Lég	Mod	Sév
<i>Ericson et al.</i> (2000 + 2002) [70, 71]	MSCT	107 patients 156 CI	12,5 (9 – 15)	NS	41,6	38	9	-	32	11	57
<i>Walker et al.</i> (2005) [72]	CBCT	19 patients 27 CI	13,3 (8 – 20)	NS	66,7	69,2	11,1	3,7	NS		
<i>Liu et al.</i> (2008) [14]	CBCT	175 patients 210 CI	16,9 (10 – 59)	NS	40,5	27,2	23,4	-	46,7		53,3
<i>Cernochova et al.</i> (2011) [73]	MSCT	255 patients 334 CI	17,6 (10 – 51)	NS	17,7	12,6	2,1	4,8	Sévères : 100%		
<i>Jung et al.</i> (2012) [74]	CBCT	63 patients 73 CI	18,4 (10 – 56)	NS	30,1	-	-	-	NS		
<i>Kim et al.</i> (2012) [75]	MSCT	148 patients 186 CI	X (8 – 19)	NS	-	49,5	-	-	32,8		16,7
<i>Oberoi et al.</i> (2012) [76]	CBCT	29 patients	16,6 (10,6 – 28)	NS	-	59,6	-	-	60	24	16
<i>Yan et al.</i> (2012) [77]	CBCT	170 patients 170 CI	14,5 (12 – 30)	Oui	-	27,4	17,8	9,5	Sévères : 57,1% IC + 36,2% IL		
<i>Lai et al.</i> (2013) [78]	CBCT	113 patients 134 CI	19,3 (8,7 – 77,2)	NS	31,3	25,4	5,2	5,2	39,6	12,5	47,9
<i>Schindel et al.</i> (2013) [79]	CBCT	40 patients 64 CI	NS	Non	22	-	-	-	NS		
<i>Strbac et al.</i> (2013) [80]	MSCT	440 patients 557 CI	24,7 (9 – 76)	NS	-	7,7	2	-	38,9	16,7	44,4
<i>Almuhtaseb et al.</i> (2014) [81]	CBCT	39 patients 43 CI	16,5 (10 – 41)	NS	34,8	25,5	9,3	-	53,3		46,7
<i>Santos et al.</i> (2014) [82]	CBCT	66 patients 79 CI	22 (12 – 55)	NS	69,6	67,6	26,8	5,6	69	18,3	12,7
<i>Alqerban et al.</i> (2015) [83]	2 CBCT	306 patients 406 CI	14,7 (8,4 – 47,2)	Oui	33,8	30,5	5,4	1,2	50,3	21,8	27,8
<i>Amar et al.</i> (2015) [84]	CBCT	74 patients 96 CI	20,4 (10 – 82)	Non	30	25	4	1	16,7	20,8	62,5
<i>Dogramaci et al.</i> (2015) [85]	CBCT	183 patients CI NS	18,2 (9 – 60)	NS	-	64,2	23,3	11,7	50	20	30
<i>Hadler-Olsen et al.</i> (2015) [86]	CBCT	37 patients 46 CI	11,9 (8,9 – 16,9)	Exclusion si traitement en cours	-	67	11	-	72,7	12,1	15,2

MSCT, scanner clinique classique ; CBCT, tomographie volumique à faisceau conique ; CI, canine incluse ; Moy, moyenne ; NS, non spécifié ; Tot, total ; IC, incisive centrale ; IL, incisive latérale ; PM1, première prémolaire ; Lég, légère ; Mod, modérée ; Sév, sévère

Le pourcentage de canines incluses maxillaires à l'origine de résorptions radiculaires des dents adjacentes varie donc entre environ 30% et 70% selon l'échantillon concerné. Il existe cependant des disparités entre les différentes études : certaines ne rapportent que les incidences concernant les incisives latérales, d'autres uniquement celles pour les incisives sans considérer les prémolaires ou alors exclusivement celles avec atteinte pulpaire. Le nombre de canines incluses analysées peut aller d'une vingtaine à plus de 500.

Les deux principaux points faibles couramment retrouvés sont :

- l'âge des patients, avec des intervalles vastes allant bien au-delà d'un âge orthodontique classique
- l'absence d'indications quant au moment de réalisation de l'examen tridimensionnel : avant tout traitement orthodontique actif ou pas, ce dernier pouvant modifier la position des racines des dents adjacentes aux canines incluses, créant ainsi des résorptions radiculaires iatrogènes.

Même si les publications de Yan et collaborateurs [77] et d'Alqerban et collaborateurs [83] stipulent expressément l'absence de tout traitement orthodontique préalable au CBCT, les échantillons contiennent des patients adultes. Celle d'Hadler-Olsen et collaborateurs [86] ne regroupe que des patients d'âge orthodontique et exclue les patients porteurs d'appareils orthodontiques lors du CBCT, sans préciser si des traitements préalables ont été réalisés.

Ces deux biais d'inclusion empêchent de répondre à la problématique suivante : quelle est l'incidence de résorptions radiculaires induites par les canines maxillaires incluses au niveau des dents adjacentes dans une population d'âge orthodontique avant de débiter tout traitement actif ?

Pour finir, il faut souligner le fait que trois études rapportent également les taux de résorptions radiculaires lors de l'éruption normale des canines dans les groupes contrôles ou du côté « sain » en cas d'inclusion unilatérale. 5,5% des incisives latérales sont touchées pour Ericson et collaborateurs [70], 2,9% des incisives centrales et 2,4% des incisives latérales selon Yan et collaborateurs [77] et 35,3% des incisives latérales pour Hadler-Olsen et collaborateurs [86]. Ces résorptions,

généralement légères voire modérées, peuvent donc accompagner une éruption normale d'une canine maxillaire. Ce phénomène est de ce fait sous-estimé dans les différents travaux à cause de l'absence d'une exploration tridimensionnelle de routine lors de l'évolution de l'ensemble des canines maxillaires.

b. Dents concernées, localisation et sévérité

▪ **Dents concernées**

Toutes les études s'accordent sur le fait que les résorptions radiculaires induites par les canines incluses maxillaires touchent préférentiellement les incisives latérales maxillaires, comme le montrent déjà Ericson et Kurol en 1987 avec 40 incisives latérales résorbées sur un échantillon de 47 dents atteintes [87]. Elles seraient affectées dans 25 à 70% des cas d'inclusion canine maxillaire (Tableau 2).

Les incisives centrales sont les 2èmes dents concernées par cette complication, soit de manière isolée, avec ou sans agénésie de l'incisive latérale, soit associée à une résorption de cette dernière : 5 à 27% des cas (Tableau 2). Cependant, toutes les publications ne rapportent pas leurs taux d'incidence [74-76].

Enfin, ce n'est qu'en de rares occasions que les canines sont à l'origine de résorptions au niveau des prémolaires ; seulement 7 études analysent également ces dents et retrouvent des pourcentages variant entre 1 et 9% (Tableau 2). Dogramaci et collaborateurs, quant à eux, constituent l'unique équipe à décrire une première molaire permanente lésée par l'évolution d'une canine maxillaire [85].

▪ **Localisation**

Dans le sens vertical, les canines incluses maxillaires résorbent le plus fréquemment les tiers apicaux et moyens des racines des dents adjacentes [6]. Ericson et Kurol notent des incidences de 13% et 82% respectivement en 1987 (Figure 7) [87] et 43% pour chacun de ces tiers radiculaires en 2000 [69]. Rimes et collaborateurs confirment ces résultats avec une incidence de résorptions affectant les deux tiers apicaux et

moyens de 97% [88]. Le tiers cervical n'est concerné que dans 3 à 11% des cas [71, 73, 77, 78, 85-87, 89].

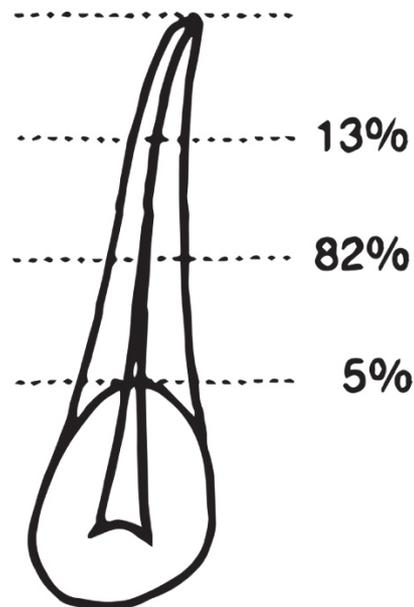


Figure 7 : Représentation schématique de la localisation des résorptions radiculaires dans le sens vertical selon Ericson et Kurol [87]

Dans le sens horizontal, environ 50% des dents seraient touchées de manière oblique au niveau de leurs faces palatines ou vestibulaires, expliquant ainsi le faible taux de détection par les techniques d'imagerie conventionnelles [9, 87]. La même équipe identifie des atteintes vestibulaires dans 33% et palatines dans 43% des cas grâce à une exploration tridimensionnelle par MSCT [69]. Dogramaci et collaborateurs analysent la localisation des résorptions radiculaires en 8 secteurs : mésial, distal, palatin, vestibulaire, mésio-palatin et vestibulaire, disto-palatin et vestibulaire. Les incisives latérales et centrales sont ainsi plus souvent résorbées en palatin, distal, vestibulaire et disto-palatin, alors que les prémolaires le sont généralement en mésial et palatin [85].

▪ Sévérité

Les premières publications s'intéressant aux incidences des résorptions radiculaires induites par les canines incluses maxillaires ne distinguaient que celles atteignant la pulpe de celles ne le faisant pas, essentiellement en raison des limitations de l'imagerie bidimensionnelle [87]. Ce n'est qu'avec l'utilisation de la radiographie tridimensionnelle, que non seulement la détection des résorptions, mais aussi une analyse précise de leur sévérité sont devenues possibles. La classification du degré de sévérité de résorption radiculaire la plus utilisée est celle décrite par Ericson et Kuroi en 2000 ; ils distinguent quatre stades [69] :

- *absence de résorption* : surface radiculaire intacte, avec perte éventuelle de la couche de ciment
- *résorption légère* : atteinte allant jusqu'à la moitié de l'épaisseur dentinaire
- *résorption modérée* : atteinte allant au-delà de la moitié de l'épaisseur dentinaire, sans effraction pulpaire
- *résorption sévère* : exposition pulpaire par la résorption.

Les pourcentages rapportés des différentes sévérités de résorptions radiculaires sont variables et parfois contradictoires (Tableau 2). L'augmentation de la prévalence générale des résorptions a souvent été expliquée par une meilleure identification des lésions légères, plus fréquentes. En revanche, certaines études décrivent des atteintes sévères dans presque 50% des cas [14, 71, 77, 78, 80, 81]. Toutefois, l'implication clinique d'une résorption radiculaire sévère atteignant l'apex ou le tiers apical n'est pas la même que celle d'une résorption sévère touchant le tiers moyen. Il serait de ce fait judicieux de mettre en parallèle dans de futures publications le degré de sévérité et la localisation verticale des résorptions radiculaires.

3. Mécanisme biologique et facteurs prédictifs

a. Mécanisme biologique

C'est donc la pression de la dent incluse au niveau radiculaire qui initie et entretient le phénomène résorptif [9, 68, 69].

La succession des évènements suivants se produirait : lésion de la couche de cémentoblastes par le contact direct avec la dent incluse et fixation d'odontoclastes à la surface radiculaire, déminéralisation de la racine par l'environnement acide et exposition de la matrice organique, puis dégradation de cette matrice par des enzymes [90]. Ces résorptions seraient identiques, d'un point de vue histologique et moléculaire, aux résorptions physiologiques des dents temporaires [9]. Toutefois, les raisons expliquant la rhizalyse de la canine temporaire et l'absence de résorption de l'incisive latérale, malgré un contact direct avec la canine permanente en cours d'éruption, n'ont pas encore été découvertes [9]. Une étude *ex vivo* met en évidence des lacunes de résorption plus importantes au niveau des racines de canines temporaires par rapport à celles d'incisives latérales lors d'une attaque acide et enzymatique [90]. La même équipe montre également une différence dans le motif d'expression de certaines protéines de la matrice extra-cellulaire entre les zones intactes des racines de dents temporaires, les zones rhizalisées de dents temporaires et les racines intactes de dents permanentes, pouvant être à l'origine d'une fixation différente des odontoclastes sur les surfaces radiculaires [91]. Les auteurs soulignent cependant l'absence de preuve d'un lien de cause à effet, ainsi que la nécessité de poursuivre leurs recherches.

b. Facteurs prédictifs

De même, le fait que certaines dents permanentes adjacentes aux canines incluses présentent des résorptions radiculaires alors que d'autres sont indemnes, a conduit à essayer de déterminer des facteurs permettant de prédire leur survenue ou d'expliquer la susceptibilité que présentent certains patients.

Les femmes paraissent plus touchées par les résorptions : elles le sont 4 fois plus pour Ericson et Kurol [87, 92] et le risque de développer des résorptions radiculaires sévères au niveau des incisives est 4,2 fois plus grand que pour les hommes selon une étude de 2015 [93]. L'hypothèse de l'influence de facteurs hormonaux est émise par ces derniers auteurs.

Le risque de résorption augmente de manière significative avec la sévérité de l'inclusion. Ainsi, une position sur l'orthopantomogramme de la pointe cuspidienne plus

mésiale que l'axe longitudinal de l'incisive latérale et un angle alpha supérieur à 25° pour Ericson et 31° pour Chaushu favorisent l'apparition de résorptions [86, 92, 93].

Brin et collaborateurs, ainsi que Chaushu et collaborateurs en 2015, détectent une association entre des incisives latérales de morphologie et taille normales et la présence de résorptions radiculaires. Elles seraient plus susceptibles d'interférer avec la canine en cours d'inclusion [93, 94].

La taille du follicule dentaire ne semble pas être un élément prédisposant ; Ericson et Kurol retrouvent la même prévalence de sacs folliculaires élargis (> 3 mm) dans les groupes avec et sans résorptions, c'est à dire environ 20% [87, 92]. Ces résultats sont confirmés par une étude plus récente réalisée à l'aide d'un MSCT [70]. Les auteurs notent également une rupture de la *lamina dura* par le follicule pour 99% des incisives latérales, qu'il y ait résorption ou non, et montrent ainsi que le contact direct entre le sac péri-coronnaire et la racine n'explique pas la présence de résorptions radiculaires [70]. En revanche, Chaushu et collaborateurs décrivent 42% de follicules dentaires d'une taille > 2 mm sur CBCT en cas de résorptions sévères contre seulement 8% en absence de résorption [93]. Les résorptions seraient alors dues à un contact direct entre la couronne de la canine incluse et la racine [70, 72, 77].

La persistance ou l'absence de canine temporaire, ainsi que son degré de rhizalyse, ne sont pas des éléments permettant de prédire la présence de résorptions radiculaires au niveau des dents permanentes adjacentes [87, 89, 92].

Pour finir, Alqerban et collaborateurs sont à l'origine d'un modèle de prédiction des résorptions radiculaires des dents adjacentes aux canines incluses maxillaires utilisant des mesures sur orthopantomogramme. Des 13 variables étudiées, ils ne retiennent que 9 éléments, dont les plus prédictifs sont : le sexe, l'état de l'apex de la canine (ouvert / fermé), la position verticale de la couronne de la canine et l'agrandissement de la canine. Ce modèle permet de prédire la présence de résorptions radiculaires avec une sensibilité de 50% et une spécificité de 85%. Les auteurs soulignent le fait qu'il est difficile de prévoir les résorptions radiculaires des dents adjacentes aux canines incluses sur un orthopantomogramme et que leur modèle peut servir à justifier l'indication d'un examen tridimensionnel [89].

4. Diagnostic clinique

Le diagnostic clinique des résorptions radiculaires induites par les canines maxillaires incluses est pauvre. Les dents atteintes sont asymptomatiques, leur vitalité ainsi que leur teinte sont conservées et leur mobilité est physiologique, sauf dans les cas de résorptions extrêmes où cette mobilité peut être augmentée [7, 9]. Ceci s'explique par le fait que le processus de résorption est stérile et que les tissus pulpaire exposés fusionnent avec les tissus parodontaux et subissent des changements histologiques métaplasiques. La lacune de résorption n'est pas en communication avec la cavité buccale et ses bactéries : le phénomène se produit en absence d'inflammation et est donc sans douleur [9].

5. Diagnostic radiologique

a. Techniques bidimensionnelles

Suite à l'examen clinique, les techniques radiologiques bidimensionnelles sont classiquement les premières utilisées dans le dépistage et le diagnostic positionnel d'une canine maxillaire incluse [9, 11]. Elles peuvent également permettre de détecter d'éventuelles complications associées à l'inclusion des canines maxillaires, telles que les résorptions radiculaires des dents adjacentes. L'orthopantomogramme, autorisant une vue d'ensemble d'une articulation temporo-mandibulaire à l'autre, peut être complété par différents clichés intra-oraux sous plusieurs incidences : radiographies péri-apicales, occlusales, ... [9, 95].

Le problème inhérent de ces techniques, si elles sont exploitées isolément, reste la visualisation en deux dimensions sur un film plan d'un volume tridimensionnel : le clinicien ne dispose généralement pas d'informations suffisantes dans le plan vestibulo-palatin et l'interprétation des clichés est rendue plus difficile à cause de la superposition des structures [96]. Le fait de combiner des incidences et des clichés différents palie partiellement à cette problématique : technique de parallaxe verticale ou horizontale (également connue sous le terme « règle de Clark ») [9, 95].

Toutefois, Ericson et Kurol stipulent déjà en 1987 que les radiographies péri-apicales sous plusieurs incidences ne permettent de séparer l'image de la canine de celle des

racines des incisives adjacentes résorbées que dans seulement 20% des cas, rendant une analyse adéquate impossible dans 4 cas sur 5 [87]. De plus, dans 33% des cas un contour radiculaire et parodontal intact est visible alors que des résorptions sont présentes lors de l'examen polytomographique [87]. La polytomographie est une technique d'imagerie bidimensionnelle permettant de produire des radiographies sous forme de coupes du patient, les structures en dehors du plan de coupe étant floues. Ces coupes sont fines et peuvent isoler un plan dans les trois sens de l'espace grâce à un mouvement complexe du tube radiogène et du capteur autour du patient. La même équipe note également que les techniques bidimensionnelles ne détectent que 50% des résorptions radiculaires des dents adjacentes dans leur échantillon [13].

Selon eux, des résorptions radiculaires doivent être suspectées dans les situations suivantes [7] :

- contact direct de la pointe cuspidienne de la canine avec la racine d'une dent adjacente
- absence / interruption de la *lamina dura* de l'alvéole, même s'il ne faut pas exclure de résorption en cas de continuité de la *lamina dura* associée à une superposition de la canine avec la racine de la dent adjacente
- contour radiculaire irrégulier en regard de la canine ectopique.

Pour conclure, les résorptions radiculaires se situent fréquemment sur les faces palatines ou vestibulaires, non explorables avec des techniques d'imagerie conventionnelles. Elles sont le plus souvent obliques et ne deviennent visibles que lorsqu'elles sont étendues et qu'elles altèrent la forme de la racine dans la zone interproximale [7, 9, 13, 66]. Une évaluation de l'étendue exacte des résorptions est donc impossible avec ce type de radiographies [97]. Ces limites de l'imagerie 2D justifient le recours à l'imagerie 3D ou en coupe en cas de suspicion de résorption radiculaire induite par une canine maxillaire incluse [9, 66, 97, 98].

b. Techniques tridimensionnelles

Le diagnostic et l'analyse des résorptions radiculaires induites par les canines maxillaires incluses se sont considérablement améliorés avec le développement et la démocratisation des techniques d'imagerie dento-maxillo-faciale tridimensionnelles permettant de s'affranchir du phénomène de superposition des structures [9, 66].

Ericson et Kurol utilisent d'abord une imagerie polytomographique en 1987 [13], puis un MSCT en 2000, considérant la polytomographie comme insuffisante [71, 98] ; la tomographie volumique à faisceau conique (CBCT) est à l'heure actuelle la plus couramment employée à cet effet (Tableau 2).

- **Scanner clinique classique (*multi-slice computed tomography (MSCT)*)**

Le recours à un examen MSCT dans le diagnostic d'une canine maxillaire incluse et des résorptions des dents adjacentes est mentionné pour la première fois dans une analyse de cas en 1988 [99]. Les auteurs utilisent des coupes de 2 mm d'épaisseur, parallèles au plan palatin, balayant une zone située entre le collet et l'apex des incisives maxillaires avec une fenêtre osseuse d'un niveau de 900 UH (unités Hounsfield) et d'une largeur de 4000 UH. Ils mettent ainsi en évidence de manière précise des résorptions radiculaires au niveau d'une incisive centrale et latérale, non visibles en radiographie conventionnelle du fait des superpositions avec la canine incluse (Figure 8) [99].

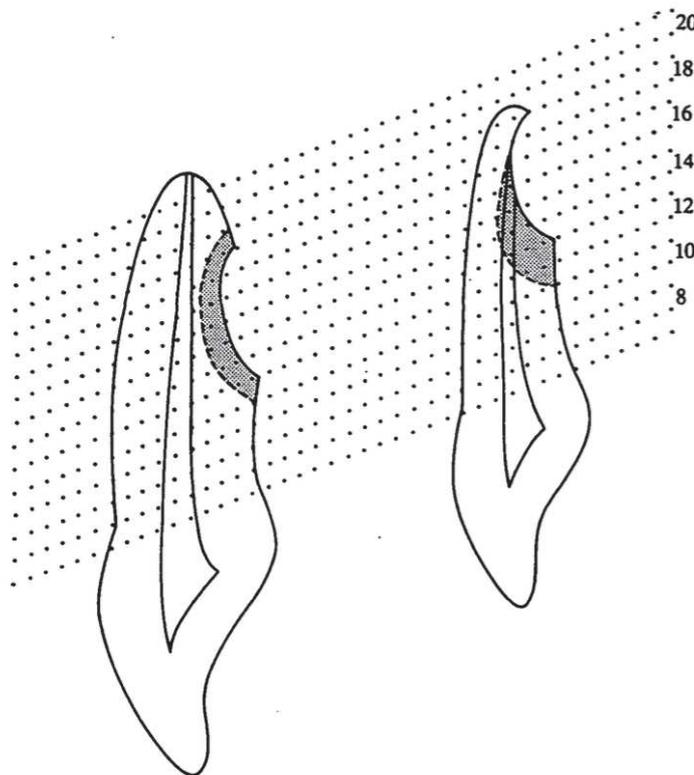


Figure 8 : Représentation schématique des résorptions radiculaires observées au niveau d'une incisive centrale et latérale maxillaire avec illustration des différents niveaux de coupes [99]

Cette modalité est décrite par d'autres équipes dans des études comportant des échantillons plus conséquents (8 et 29 patients) avec des fenêtres osseuses semblables [100, 101]. Preda et collaborateurs utilisent une acquisition hélicoïdale et soulignent l'intérêt de compléter les coupes axiales avec des reconstructions multiplanaires permettant d'accroître la sensibilité diagnostique [100].

Ce n'est qu'en l'an 2000 qu'Ericson et Kurol testent véritablement l'efficacité du MSCT pour cette indication en corrélant les résultats d'imagerie d'incisives résorbées obtenus *in vivo* avec les observations faites *in vitro* sur ces mêmes incisives après leur avulsion. Les coupes de 2 mm d'épaisseur sont cette fois-ci perpendiculaires au grand axe des incisives latérales et le fenêtrage est de 750 à 800 / 3000 UH. La concordance entre les deux méthodes pour la localisation et la profondeur maximale des lacunes de résorption est très élevée. Les auteurs concluent que le MSCT permet de détecter les résorptions radiculaires avec une sensibilité de 1 et une spécificité de 0,875 [98].

Malgré des limitations initiales liées à une acquisition coupe par coupe du volume à étudier, l'évolution de cette technique a permis une réduction considérable du temps d'acquisition : acquisition spiralée, détecteurs multibarrettes permettant l'acquisition de plusieurs coupes par rotation, etc... La possibilité d'étudier en haute résolution spatiale avec des coupes de plus en plus fines rend cette technique particulièrement indiquée dans l'exploration des structures dento-maxillo-faciales [96, 102].

▪ **Tomographie volumique à faisceau conique (CBCT)**

Le CBCT est introduit en dentisterie en 1998 et son utilisation n'a cessé d'augmenter, avec à l'heure actuelle plus de 40 machines d'une vingtaine de fabricants disponibles sur le marché [103, 104]. La principale différence avec le scanner clinique classique (MSCT) réside dans le fait que le faisceau conique est utilisé dans sa totalité grâce à des capteurs plans et des algorithmes permettant de s'affranchir des déformations en périphérie. L'acquisition de l'ensemble du volume à explorer se fait en une seule révolution autour du patient.

Les avantages fréquemment cités du CBCT par rapport au MSCT sont : une irradiation réduite selon les protocoles employés, une disponibilité et une accessibilité augmentées, une meilleure résolution en contraste pour les tissus minéralisés [104].

En revanche les inconvénients sont une susceptibilité accrue aux mouvements du patient (artéfacts de flou cinétique du fait de temps d'acquisition plus longs) et une mauvaise résolution en contraste des tissus mous [104].

Chauschu et collaborateurs soulignent en 2004, à travers une série de cas, l'intérêt d'un examen tridimensionnel par CBCT dans le diagnostic positionnel des canines maxillaires incluses ainsi que des résorptions radiculaire associées [105]. Les mesures angulaires et linéaires effectuées sur CBCT pour déterminer la position des canines incluses palatines sont fiables et reproductibles [106]. À ce jour, les nombreuses études portant sur l'incidence des résorptions radiculaire induites par les canines maxillaires incluses (Tableau 2) et les revues systématiques de la littérature sur ce sujet [103, 107, 108] permettent d'affirmer que le diagnostic des résorptions radiculaire induites par les canines incluses maxillaires (Figure 9) est une des principales indications du CBCT en orthodontie, lorsque l'imagerie bidimensionnelle est insuffisante [109, 110, 111, 112, 113, 114].

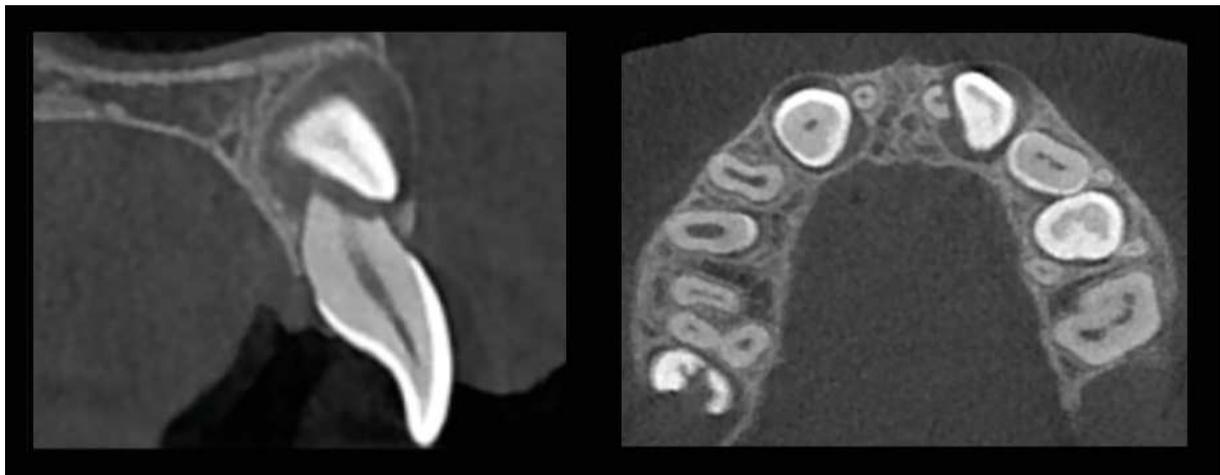


Figure 9 : Coupes sagittale et axiale de CBCT montrant une résorption radiculaire sévère de 21 par 23 incluse

- **Paramètres affectant la qualité du diagnostic 3D**

La qualité du diagnostic de résorption radiculaire est liée à la qualité des images obtenues. Pour cette indication spécifique, le praticien souhaite pouvoir détecter avec précision la présence ou non d'une résorption radiculaire, même débutante, ainsi que son étendue et sa localisation. La qualité des images doit donc être adaptée à cette

tâche [115, 116]. Elle dépend essentiellement de la résolution spatiale et en contraste, du bruit et des artéfacts [96, 117]. Ces quatre éléments sont en partie liés : en cherchant à augmenter la résolution spatiale le bruit augmente et la résolution en contraste diminue [96, 117].

La résolution spatiale d'un système d'imagerie correspond à la capacité à distinguer des objets proches (pouvoir séparateur géométrique). Elle se mesure en paire de lignes par millimètre (pl/mm) et peut être obtenue à partir de la courbe FTM (fonction de transfert de modulation) [96, 117]. Les fabricants des appareils de radiodiagnostic et les cliniciens sont particulièrement intéressés à augmenter cette résolution spatiale afin d'obtenir des images en haute résolution des structures dento-maxillo-faciales [118]. Elle constitue un phénomène complexe influencé par de nombreux paramètres, certains non modifiables et inhérents aux caractéristiques techniques de l'appareil utilisé (taille du foyer, nombre et taille des éléments unitaires des détecteurs, type de capteurs, algorithme de reconstruction, ...), d'autres en revanche sous le contrôle de l'opérateur [102, 118, 119].

Les variables pouvant être modifiées par l'opérateur dans certaines circonstances et qui influencent la résolution spatiale, sont :

- le champ de vue (FOV : *field of view*) : il doit être adapté à la région d'intérêt (ROI). Une réduction du FOV par une collimation pré-irradiation permet de diminuer la dose délivrée au patient et de réduire le rayonnement diffusé [117, 120]. De même, diminuer la taille du FOV en conservant une matrice de taille constante permet de réduire la taille des voxels et d'obtenir ainsi un meilleur échantillonnage tridimensionnel, d'où une résolution spatiale potentiellement plus élevée [96]. Cependant, moins de photons interagiront avec les voxels de plus petite taille, ce qui est à l'origine d'une diminution de la qualité de l'image (réduction de la résolution en contraste et du rapport signal / bruit) : les paramètres d'exposition doivent donc être ajustés afin d'augmenter le rapport signal / bruit [96, 115]. Pour le diagnostic des résorptions radiculaires induites par les canines maxillaires incluses, le champ de vue doit donc contenir la canine incluse ainsi que les dents adjacentes où des résorptions sont suspectées, tout en étant le plus réduit possible [104].

- la taille du voxel : il constitue l'élément unitaire du volume représenté. Le théorème de Nyquist stipule que la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure ou égale au double de la fréquence la plus élevée du signal étudié : une structure de 100 μm doit être échantillonnée par des pixels d'une taille inférieure ou égale à 50 μm [96, 118]. La taille du pixel / voxel ne correspond donc pas à la résolution spatiale de l'image [96, 118, 119] mais sa diminution limite l'effet de volume partiel et augmente théoriquement la résolution spatiale [96]. Au cours des dernières années, les fabricants d'appareils à destinée clinique ont réduit la taille des voxels jusqu'à 75 μm^3 pour des protocoles haute résolution [118, 120]. Différentes études *in vitro* ont recherché à évaluer l'influence de la taille des voxels sur l'efficacité du diagnostic de résorptions radiculaires externes. Liedke et collaborateurs conseillent ainsi l'utilisation de voxels de 300 μm^3 pour détecter des cavités de 0,3 – 0,6 ou 0,9 mm de profondeur comparés à des tailles de 400 ou 200 μm^3 [121]. D'autres travaux confirment la supériorité des protocoles d'acquisition haute résolution dans le dépistage et la mesure du volume des résorptions radiculaires externes [122-124]. En revanche, une étude comparant 6 CBCT avec des voxels de 75 à 300 μm^3 ne trouve pas de différence significative dans le diagnostic de résorption radiculaire simulée, même si les images étaient de qualité variable [125]. Neves et collaborateurs notent une équivalence de détection de résorption entre des images obtenues avec des voxels de 300 μm^3 et reconstruites en voxels de 250 μm^3 et celles directement acquises avec des voxels de 250 μm^3 permettant une réduction de la dose délivrée [126]. Pour finir, l'exploration de lésions de petite taille, telles que des résorptions / fissures / fractures radiculaires, est facilitée avec des protocoles utilisant des voxels de 75 ou 100 μm^3 (coupes 5 et 6 sur la Figure 10) [119]. Toutefois, l'ensemble des examens CBCT haute résolution décrits nécessitent des temps d'acquisition élevés, pouvant avoisiner les 40 secondes, risquant d'augmenter le risque de présence d'artéfacts liés aux mouvements du patient.

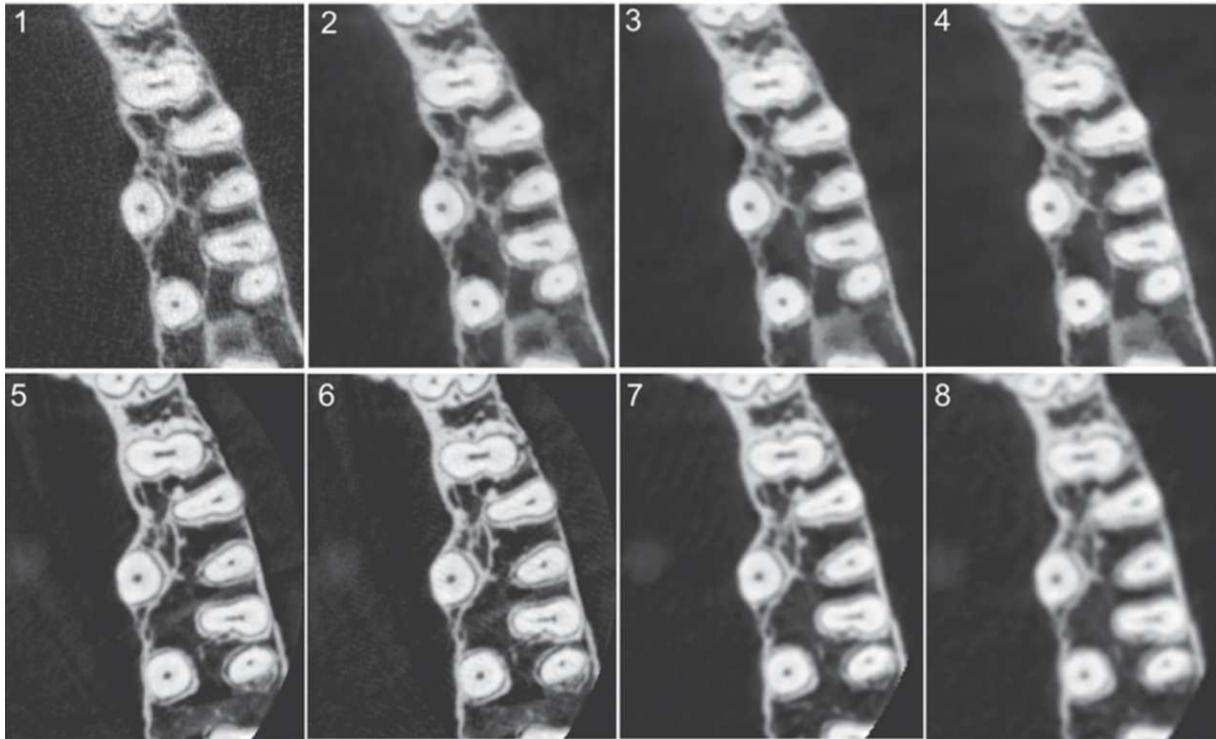


Figure 10 : Coupes axiales d'un crâne sec humain obtenues avec 8 protocoles CBCT différents [119]

- le nombre de projections et l'arc de rotation : plus les projections sont nombreuses (échantillonnage angulaire) et l'angle de rotation important (généralement 360° pour le CBCT), plus la résolution spatiale augmente, mais également la durée d'acquisition (risque plus grand d'artéfacts cinétiques) et l'exposition du patient [96, 117, 120].
- le filtrage : il permet d'obtenir un compromis entre la résolution spatiale et le contraste des images reconstruites en modifiant la proportion des différentes fréquences spatiales du plan de Fourier [96]. Il est à adapter au tissu à étudier, en l'occurrence à du tissu dentaire dans le diagnostic des résorptions radiculaires : filtres durs. En imagerie CBCT, différents filtres de renforcement peuvent être utilisés, cependant Azevedo Vaz et collaborateurs n'ont pas pu mettre en évidence de différences dans le diagnostic de résorptions radiculaires externes après avoir testé 11 filtres [127].
- l'épaisseur de coupe (MSCT) : elle contribue à définir la taille du voxel lors d'un examen scanographique. Plus elle est réduite, moins les différentes structures

peuvent se superposer au sein d'un voxel, limitant ainsi l'effet de volume partiel et augmentant la résolution spatiale [96].

- le fenêtrage (MSCT) : il consiste à répartir l'échelle de gris sur une partie spécifique de l'échelle de Hounsfield afin d'étudier avec un contraste visible le tissu souhaité. Une fenêtre se définit par son niveau ainsi que sa largeur [96]. Il peut être modifié à tout moment. L'étude des tissus minéralisés dentaires requiert des fenêtres osseuses étendues avec un niveau élevé, par exemple 700 / 4000 UH [96, 102].

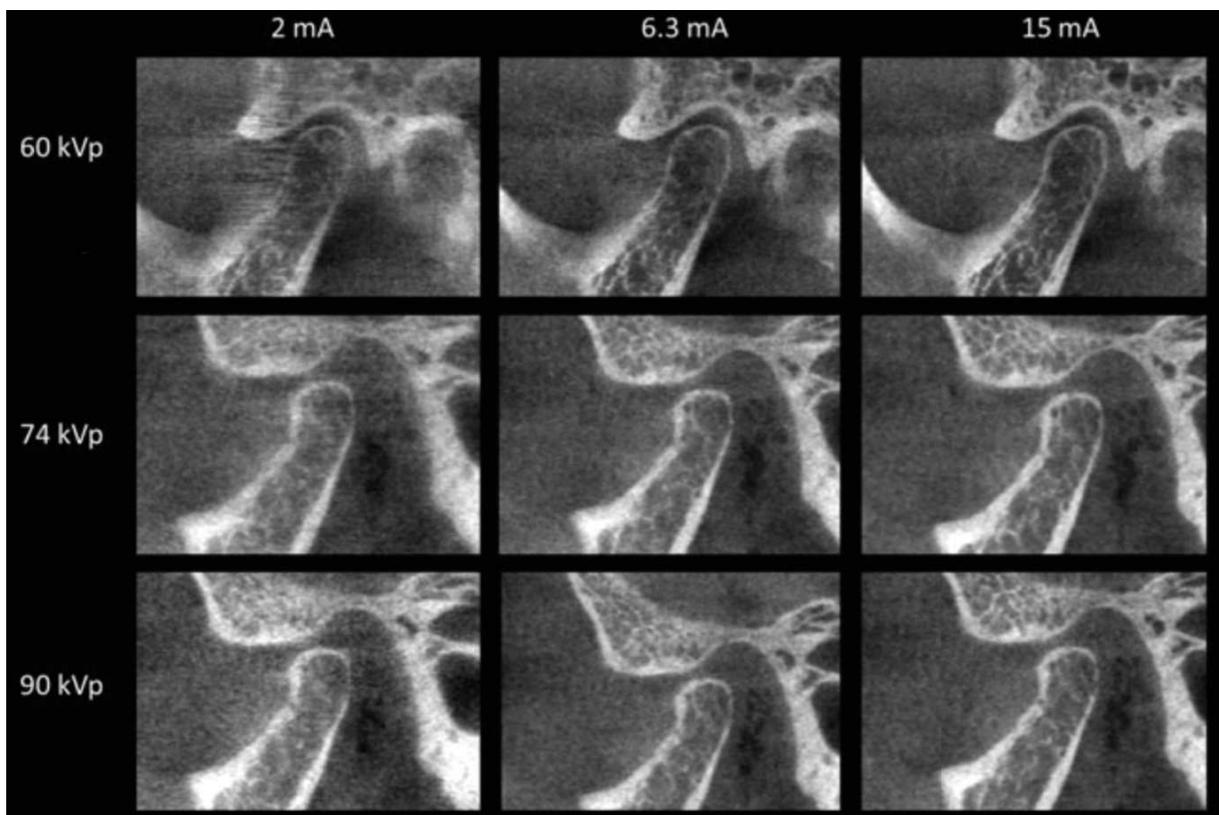


Figure 11 : Coupes para-sagittales d'une articulation temporo mandibulaire gauche illustrant l'effet d'une modification de la tension (kV) et du courant (mA) sur la qualité des images obtenues. Dans cet exemple on observe peu d'améliorations de la qualité subjective des images au-delà de 74 kVp et 6,3 mA malgré une augmentation considérable de la dose délivrée [120]

De plus, la tension (kV) et le courant (mA), correspondant respectivement à l'énergie des photons X et à leur nombre [96], permettent également d'agir sur la qualité du diagnostic. Selon les fabricants elles peuvent ou non être réglées manuellement. Une augmentation de ces valeurs est associée à une augmentation du rapport signal / bruit

mais aussi de la dose délivrée au patient. Des paramètres d'exposition plus élevés seraient requis pour des tâches diagnostiques nécessitant la visualisation du ligament alvéolo-dentaire ou de fines trabéculations osseuses (Figure 11). Il s'agit toutefois de trouver un équilibre entre la qualité minimale de l'image suffisante pour le diagnostic et l'irradiation du patient [115, 116, 120].

Pour finir, la présence d'éléments métalliques (restaurations prothétiques ou éléments d'appareils orthodontiques de type brackets, bagues, arcs, ...) dans la cavité buccale lors de l'examen, est à l'origine d'artéfacts : phénomène de durcissement de faisceau, artéfacts métalliques, Ces conditions ne sont généralement pas reproduites dans les tests réalisés *in vitro* sur fantômes ou sur mâchoires humaines issues de cadavres, mais elles ont un impact non négligeable sur la qualité des clichés ainsi que du diagnostic [128].

De nombreux facteurs influencent donc la résolution spatiale et la qualité des images obtenues. Brüllmann et Schulze soulignent le fait de bien distinguer la résolution spatiale pouvant être obtenue de manière théorique de celle retrouvée lors d'examens tridimensionnels réalisés sur des patients [118]. En effet, l'essentiel des études publiées à ce sujet mesurent cette résolution sur des fantômes inertes *in vitro*. Dans sa méta-analyse, Brüllmann rapporte des valeurs théoriques de résolution spatiale maximale inférieures à 3 pl/mm avec une médiane à environ 2,1 pl/mm [118]. Cependant, en pratique quotidienne les patients ne sont jamais parfaitement immobiles lors de l'acquisition des données ; les battements cardiaques seraient à eux seuls à l'origine de déplacements de 80 µm au niveau dentaire [118]. Chaque mouvement supérieur à la taille d'un voxel provoque des erreurs lors de la rétroprojection des différentes projections et donc une baisse de la résolution spatiale et de la qualité des images [118, 129]. D'après une revue systématique de 2016, 20% des patients bougent pendant l'examen CBCT et ceci d'une moyenne de 1,1 mm ; ces données proviennent d'enregistrements vidéos réalisés lors des acquisitions [129]. Ce phénomène est d'autant plus marqué que les examens CBCT en haute résolution sont longs (20 à 40 secondes) et le patient jeune [129]. La résolution spatiale « réelle »

serait alors légèrement supérieure à 1 pl/mm, permettant de visualiser des détails de l'ordre de 500 μm [118].

▪ **Comparaison entre MSCT et CBCT**

Ces deux techniques d'imagerie tridimensionnelle sont actuellement disponibles pour l'exploration des structures dento-maxillo-faciales. Une véritable « course à l'armement » pour des appareils de plus en plus performants est en train de se produire entre les différents constructeurs. Les comparaisons entre différentes machines sont de ce fait difficiles. En 2010, Liang et collaborateurs décrivent une qualité d'image comparable entre cinq systèmes CBCT et deux scanners multi-coupes ainsi que la supériorité d'un CBCT. Ce dernier et les MSCT sont équivalents pour la visualisation de structures minéralisées fines (os trabéculaire, espace ligamentaire, *lamina dura*) [130]. L'ensemble des systèmes CBCT étudiés par Hofmann et collaborateurs produisent des images de qualité supérieure à celles obtenues par des MSCT avec un protocole faible dose pour des structures osseuses et dentaires [131]. En revanche, ces résultats sont rejetés par une publication plus récente comparant des MSCT et un CBCT de même génération à l'aide d'un fantôme adapté aux petits champs de vue. Un seul protocole CBCT permet de se rapprocher de la qualité obtenue par les MSCT, ce qui est intéressant en pratique quotidienne du fait d'une accessibilité augmentée et d'un coût plus faible de cette technologie [102].

Il n'y a à ce jour aucune étude *in vivo* mesurant la précision obtenue par CBCT dans l'évaluation des résorptions radiculaires induites par les canines maxillaires incluses, ou comparant différents protocoles d'acquisition CBCT et MSCT *in vivo*. Elles sont impossibles d'un point de vue éthique à cause de l'utilisation de rayons X. Les données disponibles proviennent d'études *in vitro* et il est nécessaire de les interpréter quant à leur significativité clinique, ainsi qu'à leur capacité à influencer les décisions thérapeutiques. Un diagnostic précoce de résorption radiculaire reste indispensable mais il s'agit de définir un seuil à partir duquel il est pertinent.

c. Comparaison des techniques 2D et 3D

▪ **Efficacité de dépistage des résorptions radiculaires**

Les différentes publications comparant des techniques d'imagerie bidimensionnelles et tridimensionnelles pour le diagnostic des résorptions radiculaires externes (hors résorptions apicales) sont résumées dans le Tableau 3.

Les études *in vitro* ont l'avantage d'analyser des lésions calibrées mais ne tiennent pas compte des artefacts cinétiques du patient. Celles réalisées *in vivo*, bien que rétrospectives, correspondent aux situations cliniques classiques (mouvement du patient, résorption radiculaire réelle non calibrée), cependant elles considèrent généralement l'examen tridimensionnel comme le *gold standard* avec une sensibilité et une spécificité de 1, ne prenant pas en compte les faux positifs ou faux négatifs liés à cette technique. Seule l'étude d'Ericson et Kuroi a validé l'examen tomodensitométrique en comparant les résultats obtenus par imagerie *in vivo* avec les observations faites sur les mêmes dents après leur avulsion [98]. Malgré des disparités dans les différents protocoles (tailles des lésions simulées, paramètres d'acquisition 3D, ...) il ressort que l'efficacité du diagnostic de résorption radiculaire externe est supérieure pour les techniques tridimensionnelles (MSCT et CBCT) par rapport aux techniques bidimensionnelles (Tableau 3).

Tableau 3 : Comparaison de l'efficacité du diagnostic de résorption radiculaire externe entre des techniques bi- et tridimensionnelles

Type d'étude	Publication	Echantillon	Paramètres 3D			Résultats			
			Voxels	Fen ou FOV	MSCT	CBCT	OPT	PA	
<i>In vivo</i>	Freisfeld <i>et al.</i> (1999) [132]	IC : 39 IL : 39	Epaisseur de coupe 1,5 mm	800 / 4000 UH	Sen 1 Spé 1	-	Sen 0,46 Spé 0,89	-	
	Ericson <i>et al.</i> (2000) [98]	IC : 189 IL : 186	0,19 x 0,19 x 2 mm Epaisseur de coupe 2 mm	750-800 / 3000 UH	Sen 1 Spé 1	-	-	Sen 0,69 Spé 0,90	
	Estrela <i>et al.</i> (2009) [133]	48 dents	0,2 x 0,2 x 0,2 mm	NS	-	Sen 1 Spé 1	-	Sen 0,54 Spé 1	
	Alqerban <i>et al.</i> (2011) [134]	IC : 89 IL : 89	0,125 x 0,125 x 0,125 mm et 0,2 x 0,2 x 0,2 mm	30 x 40 mm et 75 x 100 mm	CBCT > OPT				
	Jawad <i>et al.</i> (2016) [135]	IC : 42 IL : 42	NS	« petit »	-	Sen 1 Spé 1	Sen 0,37 Spé 0,96	Sen 0,37 Spé 0,96	
	Lima <i>et al.</i> (2016) [136]	48 dents	0,1 x 0,1 x 0,1 mm	50 x 50 mm	-	Sen 1 Spé 0,98	-	Sen 0,87 Spé 0,87	
<i>In vitro</i>	Alqerban <i>et al.</i> (2009) [137]	IL : 10	0,125 x 0,125 x 0,125 mm et 0,133 x 0,133 x 0,133 mm	30 x 40 mm et 75 x 100 mm	-	Sen 0,95 Spé 0,75	Sen 0,78 Spé 0,38	-	
	Durack <i>et al.</i> (2011) [138]	I : 30	NS	« petit »	-	Sen 1 Spé 0,94	-	Sen 0,87 Spé 0,43	
	Kumar <i>et al.</i> (2011) [139]	I : 40	0,25 x 0,25 x 0,25 mm	NS	Pas de différence significative entre CBCT et PA.				
	Creanga <i>et al.</i> (2015) [140]	R : 153	0,2 x 0,2 x 0,2 mm	NS	-	Sen 0,69 Spé 0,91	-	Sen 0,52 Spé 0,81	
	Takeshita <i>et al.</i> (2015) [141]	PM : 20	0,125 x 0,125 x 0,125 mm	60 x 60 mm	CBCT > OPT / PA				

MSCT, scanner clinique classique ; OPT, orthopantomogramme ; PA, radiographies péri-apicales ; CBCT, tomographie volumique à faisceau conique ; NS, non spécifié ; IC, incisive centrale ; IL, incisive latérale ; I, incisive ; R, racine ; PM, prémolaire ; Fen, fenêtre ; FOV, champ de vue ; Sen, sensibilité ; Spé, spécificité

▪ **Modifications du plan de traitement après examen tridimensionnel**

L'impact d'un examen tridimensionnel (en supplément d'un examen radiologique bidimensionnel) sur le diagnostic et le plan de traitement en cas de canine maxillaire incluse a fait l'objet de plusieurs études. Les résultats fréquemment retrouvés sont :

- une modification du plan de traitement initial : dans 27 à 79% des cas [142, 143, 144]. Le plan de traitement est plus interventionniste après examen 3D contrairement à des approches plus conservatrices et interceptives avec des documents uniquement 2D [145]. Le choix entre traitement avec ou sans avulsions, ainsi que la ou les dents à extraire est différent dans 23 à 61% des cas pour Bjerklin et collaborateurs [146]
- une meilleure détection de la présence, localisation et étendue des résorptions radiculaires des dents adjacentes aux canines incluses, généralement sous-estimées en imagerie bidimensionnelle [140, 144, 145, 147, 148, 149, 150]
- une meilleure localisation spatiale de la canine incluse [114, 140, 145, 150] et l'identification de dilacérations radiculaires [148]
- un traitement jugé plus difficile [145]
- une plus grande confiance dans le diagnostic et le plan de traitement [140, 144]
- un examen 3D estimé utile [140, 145, 147].

Cependant, l'ensemble de ces publications se base sur des plans de traitements théoriques formulés par les examinateurs interrogés (orthodontistes et chirurgiens oraux). Elles ne mesurent pas s'il y a ou pas, suite à l'examen tridimensionnel, eu une réduction du nombre et de la sévérité des résorptions radiculaires en fin de traitement, une réduction du temps de traitement, un taux de succès de mise en place de la canine plus élevé, etc... Alqerban et collaborateurs étudient ces paramètres et trouvent une durée de traitement inférieure de 4 mois pour le groupe ayant bénéficié d'un CBCT en plus des documents radiologiques bidimensionnels. Ces résultats sont cependant biaisés du fait du caractère rétrospectif de l'étude et de l'absence de comparabilité initiale des deux groupes [149]. Des essais cliniques randomisés prospectifs (traitement d'une canine incluse maxillaire avec ou sans examen tridimensionnel lors

du diagnostic) évaluant sur le long terme ces différentes variables sont nécessaires afin de pouvoir apporter la preuve que l'examen tridimensionnel (CBCT ou MSCT) permet une amélioration de la prise en charge des patients présentant une canine incluse maxillaire [104, 111, 114].

▪ **Dosimétrie**

Les rayons X utilisés par les différentes modalités de radiodiagnostic interagissent avec les tissus traversés et peuvent être à l'origine de dommages de l'ADN. La probabilité d'apparition d'effets stochastiques est proportionnelle à la dose efficace exprimée en Sievert (Sv) et ce risque est d'autant plus important chez l'enfant et l'adolescent en cours de croissance [104, 109, 151]. Ces doses efficaces doivent être calculées selon les recommandations de 2007 de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) [104, 111, 148]. La comparaison des doses efficaces produites par les différentes techniques d'imagerie utilisées pour diagnostiquer les résorptions radiculaires induites par les canines maxillaires incluses, est compliquée par la multitude d'appareils disponibles de différentes générations et des paramètres d'acquisition pouvant être très variables (champ de vue, taille des voxels, tension, courant, nombre de projections, exposition continue ou pulsée, filtration du faisceau, position du patient, types de capteurs ...) [104, 148]. Selon Ludlow et collaborateurs [104, 151, 152], les doses efficaces moyennes sont :

- radiographie péri-apicale numérique : 1,5 μ Sv.
- orthopantomogramme : 2,7 – 24,3 μ Sv.
- CBCT petit champ du maxillaire avec protocole standard chez un enfant : 16 – 177 μ Sv avec une moyenne de 67 μ Sv. L'utilisation d'un protocole haute-résolution augmente généralement ces doses à cause d'une élévation des constantes d'exposition permettant de maintenir le rapport signal / bruit pour une taille de voxel diminuée [104, 109].
- scanner multi-coupes (MSCT) maxillo-mandibulaire : 280 – 1410 μ Sv [111].

La dose efficace d'un examen CBCT est donc supérieure à celle des examens bidimensionnels classiques. Elle peut être optimisée en réduisant le champ de vue et en adaptant les paramètres d'acquisition dans la mesure du possible selon les

fabricants [104, 109, 148]. Certains MSCT avec protocoles « faible dose » produisent des doses efficaces proches de celles des CBCT petit champ en mode haute résolution [131]. Elles sont à mettre en parallèle avec la dose efficace de l'exposition quotidienne aux radiations naturelles qui est d'environ 5 μ Sv en France métropolitaine : l'ordre de grandeur est d'une semaine pour un orthopantomogramme et jusqu'à un mois pour un CBCT.

d. Recommandations pour l'exploration radiologique des résorptions radiculaires induites par les canines incluses

Dans un but de radioprotection des patients il s'agit d'appliquer le principe ALARA (*as low as reasonably achievable* : aussi bas que raisonnablement possible) [109] qui a même été adapté en ALADA (*as low as diagnostically acceptable* : aussi bas qu'acceptable d'un point de vue diagnostique) [148]. La qualité des images doit être suffisante pour le diagnostic recherché avec une dose efficace la plus réduite possible. Pour le diagnostic des résorptions radiculaires induites par les canines incluses maxillaires, il n'y a à ce jour aucun consensus quant au seuil de détection recherché des lésions initiales ni de sa pertinence clinique et, de ce fait, aucun protocole strict pour l'imagerie tridimensionnelle ne peut être recommandé [148]. Les auteurs s'accordent cependant, tout comme pour l'exploration de résorptions radiculaires externes en endodontie, sur des champs de vue réduits, englobant uniquement la région d'intérêt, et des tailles réduites de voxels permettant théoriquement une meilleure résolution spatiale mais s'accompagnant généralement d'une augmentation de la dose efficace (protocoles haute résolution) [104, 110, 111, 119, 119]. Ces examens tridimensionnels, malgré le supplément d'informations qu'ils peuvent apporter, ne sont recommandés qu'en seconde intention lorsque l'imagerie bidimensionnelle conventionnelle n'est pas suffisante [109-113]. Le CBCT, lorsqu'il est disponible, devrait être préféré au MSCT d'un point de vue dosimétrique [111]. Différentes questions peuvent se poser :

- à partir de combien de clichés bidimensionnels un examen tridimensionnel est-il indiqué ? Quels sont ces clichés bidimensionnels ?
- à quel moment doit être réalisé l'examen tridimensionnel : avant interception ? avant le début du traitement orthodontique ? avant le dégagement chirurgical ?

Naoumova et collaborateurs détectent 16% de résorptions radiculaires légères (moins de la moitié de l'épaisseur dentinaire) par CBCT au début de leur étude. L'équipe a laissé évoluer ces lésions pendant une période d'un an dans les deux groupes, afin de tester l'efficacité de l'avulsion de la canine temporaire dans l'interception de l'inclusion de la canine permanente. A la fin de l'essai clinique, plus de résorptions radiculaires légères sont présentes dans le groupe contrôle (29%), contre 18% dans le groupe test, mais la différence n'est pas significative. Les auteurs conseillent de faire le diagnostic initial de risque d'inclusion ainsi que le suivi après extraction de la canine temporaire à l'aide d'un orthopantomogramme (OPT). Le CBCT serait alors indiqué en cas d'échec de l'interception, les résorptions légères présentes initialement au niveau des dents adjacentes n'évoluant que peu pendant l'année de suivi [51].

Pour conclure, l'OPT est donc l'examen radiologique de première intention et de suivi par excellence. Tout cliché bidimensionnel supplémentaire en cas de suspicion de résorption radiculaire a pour unique effet d'augmenter l'irradiation du patient sans être réellement bénéfique d'un point de vue diagnostique par rapport à un examen tridimensionnel réalisé d'emblée après l'OPT. Toutefois certaines recommandations conseillent encore le recours à plusieurs images bidimensionnelles avant d'indiquer une exploration tridimensionnelle [153]. Le CBCT quant à lui n'est indiqué qu'en seconde intention, après échec de l'interception, lorsque des résorptions avancées (plus de la moitié de l'épaisseur dentinaire) sont déjà visibles ou suspectées à l'OPT initial ou lorsque l'angle alpha est supérieur à 30° pour Wriedt et collaborateurs [148]. Il ne doit être réalisé qu'une seule fois, avant le début du traitement orthodontique, afin de visualiser les résorptions radiculaires présentes et de potentialiser les modifications éventuelles du plan de traitement grâce au supplément d'informations obtenu. Il s'agit ensuite de réduire au maximum le délai avant le dégagement chirurgical et le début de la traction orthodontique de la canine incluse pour minimiser la progression de résorptions radiculaires plus sévères. Dans un souci de radioprotection du patient, un examen tridimensionnel avant dégagement chirurgical n'est alors pas nécessaire.

L'arbre décisionnel suivant peut donc être proposé pour l'exploration radiologique des canines incluses maxillaires et des éventuelles résorptions radiculaires associées (Figure 12).

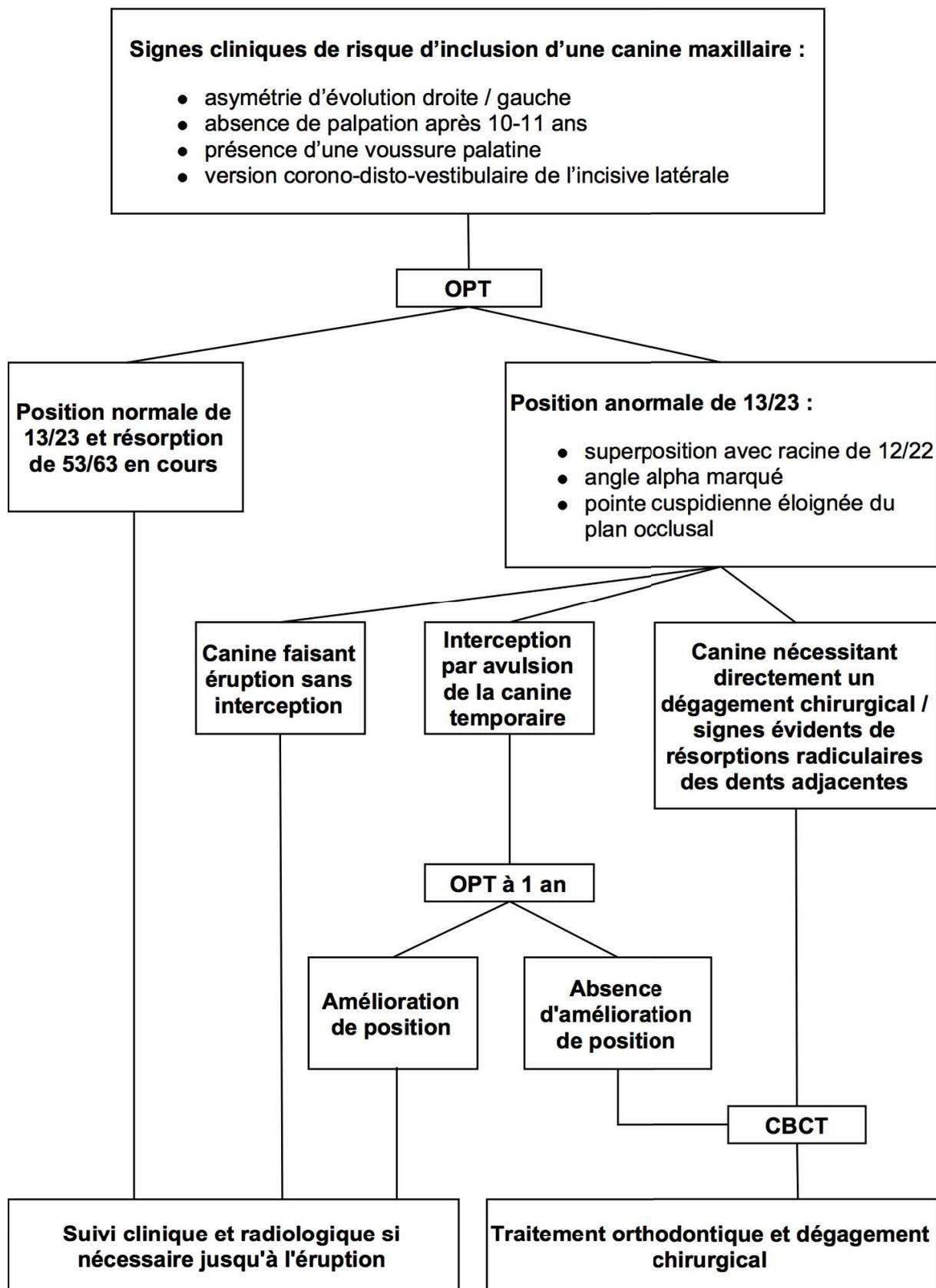


Figure 12 : Arbre décisionnel pour l'exploration radiologique des canines incluses maxillaires et des éventuelles résorptions radiculaires des dents adjacentes

A retenir

- **Les résorptions radiculaires induites par les canines incluses maxillaires sont un phénomène pathologique. Le mécanisme biologique permettant d'expliquer que certaines dents sont résorbées et d'autres non est encore mal compris.**
- **Les taux d'incidence de résorptions décrits se situent entre 30 et 70% selon les études, avec une augmentation des cas détectés grâce à la radiologie tridimensionnelle. Les dents les plus fréquemment touchées sont les incisives latérales, suivies des incisives centrales et des prémolaires.**
- **Différents facteurs prédictifs sont couramment retrouvés : sexe féminin, inclusion de sévérité augmentée, présence d'une incisive latérale de taille et morphologie normale. La taille du sac folliculaire n'est pas incriminée, les résorptions étant plutôt liées à un contact direct entre la canine incluse et la racine.**
- **Le diagnostic de résorption radiculaire est essentiellement radiologique, les signes cliniques étant pauvres.**
- **Les techniques d'imagerie tridimensionnelles (CBCT et MSCT) permettent une meilleure détection des résorptions radiculaires par rapport aux techniques bidimensionnelles qui souffrent du problème de superposition des structures dans le sens vestibulo-palatin. Il est recommandé d'utiliser des champs de vue ainsi que des voxels réduits, permettant d'augmenter théoriquement la résolution spatiale. Ces examens, plus irradiants, ne doivent être réalisés qu'une seule fois avant de débiter le traitement orthodontique et ceci en seconde intention.**

III. Traitement en cas d'échec d'interception de l'inclusion canine

1. Objectifs et plan de traitement

Les inclusions dentaires hors troisièmes molaires, et donc les canines maxillaires incluses, bénéficient du niveau le plus élevé de justification de traitement orthodontique selon l'*Index of Orthodontic Treatment Need* (IOTN : indice de besoin en traitement orthodontique) : grade 5 de la composante dentaire [154].

Un des buts principaux du traitement est d'éviter l'apparition de résorptions radiculaires au niveau des dents adjacentes de la canine incluse ou d'arrêter un processus résorptif déjà existant [9, 66, 155]. En effet, les résorptions étant produites par le stimulus mécanique de la canine en cours d'évolution [9, 68, 69], il s'agit d'éloigner le plus rapidement la dent incluse des racines des dents adjacentes afin de supprimer la pression exercée à ce niveau et donc d'interrompre le phénomène résorptif [9, 66, 155].

L'alternative thérapeutique la plus couramment utilisée est la mise en place orthodontique de la canine incluse suite à un dégagement chirurgical [7]. Le plan de traitement devra tenir compte de : la position de la canine et la difficulté de sa traction, l'espace disponible ainsi que la présence d'une éventuelle dysharmonie dents-arcade, l'existence d'une malocclusion associée dans la dimension transversale, le sens sagittal ou vertical, et enfin la présence et la sévérité des potentielles résorptions radiculaires des dents adjacentes [7]. L'ensemble de ces éléments permet de décider si des dents adjacentes résorbées peuvent être conservées ou non avec un bon pronostic, surtout si des avulsions sont rendues nécessaires du fait de la malocclusion associée [6, 142]. L'apport de l'imagerie tridimensionnelle dans ce processus a déjà été abordé plus tôt dans ce travail (Modifications du plan de traitement après examen tridimensionnel).

Le patient doit être informé que la présence d'une canine incluse l'expose à un traitement orthodontique plus long, qu'il soit réalisé en une seule phase ou en deux phases avec période de surveillance intermédiaire. L'augmentation de la durée de traitement est en moyenne de 3 à 4 mois pour une canine incluse unilatérale et de 9 à

10 mois pour une inclusion bilatérale [46]. Elle est d'autant plus marquée que l'inclusion est sévère : +7,6 mois si la canine est située dans les secteurs 4 ou 5 par rapport à une canine en secteurs 1 ou 2, +1,2 mois par mm de plus de distance au plan d'occlusion (distance d), ainsi que lorsque l'angle alpha ou l'âge du patient augmentent [44, 45].

2. Préparation orthodontique

Elle constitue généralement la première étape de la mise en place chirurgico-orthodontique d'une canine incluse, hormis dans les cas d'inclusion palatine avec recours à la technique d'éruption autonome préconisée par Kokich [156-158]. Cette phase doit être d'une durée la plus réduite possible en cas de résorptions radiculaires des dents adjacentes [9, 66]. Une étude rapporte une augmentation de 17% du rapport couronne clinique / racine entre le diagnostic de résorption et l'éloignement de la canine incluse [155].

a. Préparation d'ancrage

Il s'agit de créer un ancrage suffisant pour s'opposer aux forces qui seront générées lors de la traction de la canine incluse, ainsi que de les répartir afin de minimiser les effets indésirables sur les autres dents [9, 159-161]. C'est un élément crucial de la préparation orthodontique, un ancrage insuffisant ayant été incriminé dans 49% des cas d'échec selon Becker et collaborateurs [162]. Il peut être uniquement dentaire ou comprendre des ancrages osseux.

L'ancrage dentaire est le plus utilisé et consiste à solidariser le maximum de dents possibles à l'aide d'un appareil multi-attache fixe et d'un arc continu rigide : le module de Young devra être élevé (acier) ainsi que le moment d'inertie du fil [9, 159-161]. Selon le stade de denture du patient, l'orthodontiste peut être amené à inclure des dents temporaires ayant une valeur d'ancrage plus réduite (racines plus courtes, phénomène de rhizalyse). De plus, les dents adjacentes à la canine incluse peuvent ou non, selon la situation clinique, faire partie de l'unité d'ancrage [9]. Il ne faut cependant pas entraîner de résorptions radiculaires iatrogènes ou aggraver des résorptions déjà présentes du fait de mouvements radiculaires incontrôlés (2nd et 3^{ème}

ordre) [9]. L'utilisation d'auxiliaires (arc transpalatin en acier, tractions inter-arcades, forces extra-orales) permet d'augmenter la valeur d'ancrage.

Les ancrages osseux constituent des ancrages absolus et se présentent sous différentes formes : mini-vis ou plaques d'ancrage et plus rarement implants dentaires ostéo-intégrés [9, 161, 163-165]. Ils peuvent servir d'ancrage direct ou indirect, stabilisant alors dans ce cas l'arcade dentaire. Différents sites d'insertion ont été décrits dans la littérature : mini-vis palatines antérieures paramédianes, mini-vis vestibulaires, plaques zygomatiques, etc... (Figure 13) [9, 161, 163-165]. L'utilisation d'ancrages osseux autorise à débiter immédiatement la traction orthodontique et ainsi de réduire le risque d'aggravation de résorptions radiculaires déjà présentes, contrairement à une phase d'alignement et de nivellement nécessaires dans le cas d'un ancrage classique [9, 163]. Ils permettent également de tester la présence d'une ankylose sans risques d'effets parasites et de faciliter l'ouverture d'espace (distalisation molaire), ainsi que de différer la pose d'un appareil multi-attache jusqu'au moment où la position de la canine est proche de sa situation normale [9, 161, 163-165]. Une réduction de la durée de traitement a également été décrite dans les cas de canines incluses, sans toutefois disposer d'essais cliniques randomisés soutenant ces propos [9, 163].



Figure 13 : Utilisation d'une mini-vis vestibulaire comme ancrage direct pour la traction d'une 13 incluse [161]

b. Ouverture de l'espace

La canine temporaire présente généralement un diamètre mésio-distal plus réduit d'environ 2 mm par rapport à son homologue définitive [9, 163]. De plus, en cas de perte de la canine temporaire sans remplacement par la canine permanente, des migrations secondaires des dents adjacentes sont souvent à l'origine de la fermeture partielle voire totale de l'espace. Il est de ce fait nécessaire de rouvrir l'espace, tant au niveau coronaire que radiculaire, avant de pouvoir mettre en place la canine préalablement incluse [9, 160]. L'ouverture se réalise avant ou après le début de la traction orthodontique, cette dernière solution devant être privilégiée en cas de résorption radiculaire d'une dent adjacente [9]. Elle peut se faire grâce à :

- la fermeture de diastèmes inter-incisifs existants [9]
- la vestibuloverision des incisives [9]
- la distalisation des secteurs prémolaires et molaires [9]
- la modification de la forme d'arcade et l'expansion transversale [9]
- l'avulsion d'une dent permanente (première prémolaire ou plus rarement une incisive résorbée compromise) uniquement après s'être assuré de l'absence d'ankylose de la canine incluse et de la possibilité de la mettre en place [9, 160].

3. Abord chirurgical et gestion parodontale

L'abord chirurgical peut être vestibulaire ou palatin selon la position de la canine incluse, les considérations parodontales étant différentes dans les deux situations. Le but est de coller un dispositif sur la canine permettant de la tracter. En cas de résorption radiculaire des dents adjacentes, l'exposition doit se faire le plus à distance possible du front de résorption afin d'éviter une contamination bactérienne de cette zone [9]. De ce fait, les techniques ouvertes sont parfois contre-indiquées [9].

a. Abord vestibulaire

Lors d'un abord vestibulaire une attention toute particulière devra être apportée à ce que la dent incluse fasse éruption avec de la gencive attachée, soit spontanément soit après avoir amené un capital de gencive attachée via l'intermédiaire de lambeaux déplacés [166, 167]. L'éruption à travers la muqueuse alvéolaire est à l'origine de

récessions et compromet le résultat esthétique et parodontal [166, 167]. Différentes techniques ont été décrites : l'accès direct, le lambeau déplacé apicalement, le lambeau déplacé apicalement et latéralement et pour finir le lambeau remplacé (éruption fermée) avec une éventuelle seconde intervention [9, 156, 167, 168]. D'après Kokich, les quatre critères à prendre en compte avant un abord vestibulaire sont [155] :

- la profondeur d'inclusion dans le sens vestibulo-palatin : en superficie ou au centre de l'alvéole
- la position verticale de la couronne par rapport à la ligne de jonction muco-gingivale
- la position mésio-distale de la couronne
- la quantité et la qualité de la gencive attachée présente : nécessité d'un bandeau d'au moins 2-3 mm de gencive attachée.

Les indications des différentes techniques en fonction de ces recommandations sont récapitulées dans la Figure 14.

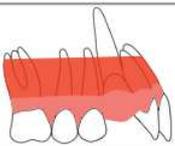
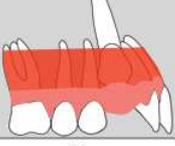
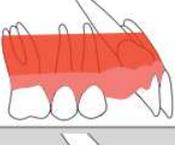
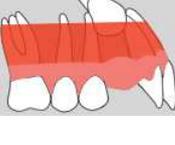
	Accès direct	Lambeau déplacé apicalement / latéralement	Lambeau remplacé (fermé) +/- 2nd abord
	X	X	
		X	
		X	
			X

Figure 14 : Choix des techniques d'abord vestibulaire d'une canine incluse en fonction des différentes situations cliniques

b. Abord palatin

Lors d'un abord palatin la canine incluse fera toujours éruption dans la muqueuse palatine. Le risque de récessions vestibulaire ou palatine n'est alors pas lié à la qualité du tissu gingival entourant la dent [166, 167]. Deux techniques principales sont décrites ainsi qu'une variante de l'une d'entre elles : technique fermée, ouverte et ouverte avec éruption autonome [9, 156-158, 169]. Les approches fermée et ouverte se distinguent par le fait que la canine soit ou non en communication directe avec la cavité buccale après l'exposition chirurgicale [9, 158, 169]. L'éruption autonome quant à elle est une approche ouverte sans qu'un dispositif de traction ne soit mis en place. L'orthodontiste suit alors pendant plusieurs mois l'éruption en direction palatine de la canine, le traitement orthodontique n'étant débuté qu'une fois la pointe cuspidienne située à proximité du plan occlusal [156-158]. Cette dernière technique est toutefois contre-indiquée en cas de résorption des racines des dents adjacentes, le risque de contamination du front de résorption, ayant éventuellement exposé la pulpe, étant trop élevé [9, 158, 169].

Des avantages et inconvénients à ces deux types d'abords palatins ont été revendiqués par chacun de leurs défenseurs. Cependant, des essais cliniques randomisés et des revues de la littérature n'ont pu identifier de différences en termes de durée d'intervention chirurgicale, de douleur post-opératoire ou d'impact sur la qualité de vie des patients entre la technique ouverte et fermée [170-173].

4. Mise en place orthodontique

a. Phase de traction

La traction orthodontique peut débuter immédiatement après le dégagement chirurgical ou suite à un délai permettant la cicatrisation des tissus mous. Son but est de supprimer le plus rapidement possible la proximité entre la canine incluse et les racines des dents adjacentes en réorientant de manière appropriée la canine [9]. Ceci constitue la priorité du traitement [9]. Elle peut se faire selon une approche continue ou segmentée.

▪ **Approche continue**

La traction se fait directement entre la canine incluse et l'arc principal par l'intermédiaire de ressorts, d'éléments élastomériques ou d'arcs souples supplémentaires superposés à l'arc principal servant d'ancrage et qui n'est pas engagé dans la canine [9, 159-161]. Cette méthode, facile à mettre en œuvre, présente néanmoins de nombreux inconvénients :

- la répartition des contraintes ne se fait pas de manière homogène sur l'ensemble de l'unité d'ancrage, mais se concentre essentiellement sur les dents adjacentes, c'est à dire la première prémolaire et l'incisive latérale, pouvant être à l'origine de résorptions radiculaires apicales d'origine orthodontiques exacerbées [66, 159, 161]
- les effets parasites s'expriment surtout sur les dents adjacentes : ingression et version coronaire en direction de la canine incluse dans le 1^{er} et 2nd ordre, d'autant plus si la canine est ankylosée [159, 161]
- le contrôle précis de la direction de traction est limité, pouvant être à l'origine de résorptions radiculaires iatrogènes au niveau des dents adjacentes ou d'une aggravation de résorptions déjà présentes [158, 160, 162]
- l'utilisation d'éléments élastomériques développe des forces d'intensités inconstantes et nécessite des réactivations fréquentes [158, 160]
- l'impossibilité d'appliquer un moment à la canine en plus de la force de traction [158, 160].

▪ **Approche segmentée**

Cette approche repose sur l'utilisation d'un arc supplémentaire, généralement sous forme d'un cantilever, inséré soit dans un tube accessoire d'une dent située à distance de la canine, soit au niveau d'un attachement d'un ancrage osseux [159, 161, 163, 165, 174]. Le reste de l'arcade est consolidé par un arc continu rigide et des auxiliaires. Cette technique présente les avantages suivants :

- une meilleure répartition des contraintes sur l'ensemble de l'unité d'ancrage [159, 174]

- des effets parasites mieux maîtrisés ne s'exprimant pas au niveau des dents adjacentes [159, 174]
- un contrôle précis de la direction de traction, facilement modifiable dans les trois sens de l'espace, qui permet d'éloigner de manière plus prédictible la canine incluse des racines des dents adjacentes ainsi que des lacunes de résorption [159, 161, 174]
- des forces d'intensités plus constantes lors de la désactivation du cantilever [159, 161, 174, 175]
- le système est statiquement déterminé lorsque le point d'application au niveau de la canine est ponctiforme (Figure 15) [159, 161, 174, 175]
- la possibilité d'appliquer un moment à la canine si l'attachement est un bracket [175].

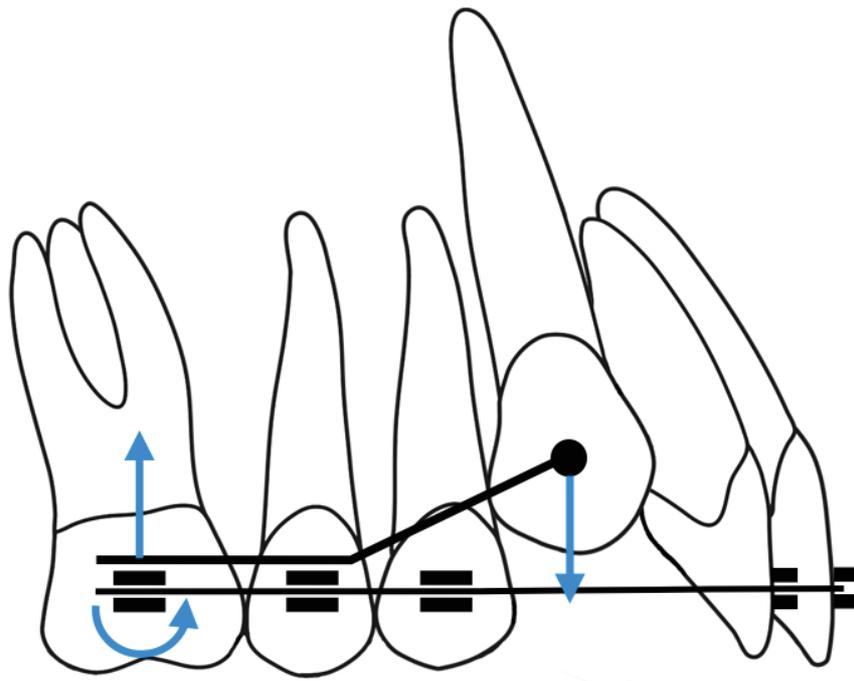


Figure 15 : Forces et moments exercés au niveau des attaches lors de l'égression d'une canine par un cantilever [159, 174, 175]

b. Finitions et redressement radiculaire

Lorsque la couronne de la canine préalablement incluse se situe à l'emplacement souhaité au niveau de l'arcade, l'orthodontiste peut généralement avoir recours à une technique continue pour finaliser et parfaire l'alignement et le nivellement coronaire.

L'étape de finition doit également concerner la racine de la canine mise en place. Cette dernière se trouve souvent à distance de sa position idéale dans le plan vestibulo-palatin et également mésio-distal. Ceci est particulièrement vrai pour les canines préalablement incluses en palatin : l'apex peut être localisé 10 mm plus palatinement que celui de la canine controlatérale ayant fait éruption de manière normale. Ce manque de torque radiculo-vestibulaire a des retentissements directs sur la hauteur de couronne clinique de la canine, qui sera diminuée, ainsi que sur son aspect esthétique. Il constitue l'une des raisons principales d'identification de canines préalablement incluses dans des études de perception [176, 177]. De plus, un torque canin jugé esthétique se situe entre 0° et -7° pour des orthodontistes, +3° et -10° pour des profanes, mais est unanimement jugé inesthétique s'il est supérieur à +6° [178].

5. Résultat esthétique et parodontal

a. Résultat parodontal

De nombreuses études ont analysé les retentissements d'un point de vue parodontal de la mise en place d'une canine incluse vestibulaire ou palatine. Elles sont essentiellement rétrospectives, constituées d'échantillons non homogènes et de taille réduite pouvant comprendre des incisives incluses, avec des durées de suivi ainsi que des techniques chirurgicales différentes.

▪ **Comparaison avec la canine ayant fait éruption normalement**

La majorité des publications décrit une dégradation de l'état parodontal au niveau d'une canine préalablement incluse, ainsi qu'en mésial de la première prémolaire et en distal de l'incisive latérale, sa significativité clinique reste cependant faible [168, 170, 177, 179-186]. Les valeurs rapportées sont de l'ordre de 0,5 à 1 mm de perte osseuse marginale au niveau de la canine, des profondeurs de sondage augmentées d'environ 1 mm, des indices d'inflammation gingivale et de plaque augmentés, des récessions vestibulaires ou palatines inférieures à 2 mm ainsi que des résorptions radiculaires apicales d'en moyenne 1 mm pour la canine et ses dents adjacentes. Seules les études de Vanarsdall et collaborateurs et Crescini et collaborateurs ne mettent pas en évidence de différences entre des canines exposées par un lambeau

déplacé apicalement [166] ou une technique fermée en palatin [187, 188] et les canines controlatérales.

▪ **Comparaison entre différentes techniques d'exposition**

En palatin, les essais cliniques randomisés prospectifs et revues de la littérature n'ont pas trouvé de différences de résultats parodontaux entre un abord chirurgical par technique ouverte ou fermée [170, 185, 186]. Concernant les techniques d'exposition en vestibulaire, le lambeau déplacé apicalement produit des résultats plus favorables qu'une technique d'accès direct sans lambeau, comparables à ceux des canines controlatérales saines [166, 189, 190].

Dans le cas de canine maxillaire en position vestibulaire, nous ne disposons pas à ce jour d'études comparant directement l'exposition par lambeau déplacé apicalement et la technique fermée [190].

b. Résultat esthétique

La mise en place d'une canine incluse peut avoir des conséquences esthétiques, surtout lorsque cette dernière est vestibulaire : récessions, cicatrices, différences de texture et de hauteur de gencive kératinisée, récurrences verticales de la couronne [166].

Au niveau vestibulaire, des résultats plus favorables sont décrits avec une technique fermée par rapport à un lambeau déplacé apicalement [168, 191]. Ces études sont cependant rétrospectives et constituées d'un échantillon incluant canines et incisives maxillaires pour la première et uniquement des incisives maxillaires incluses pour la seconde. En revanche, Vanarsdall et collaborateurs ne notent pas de différences au niveau de l'aspect esthétique (texture de gencive, présence de récessions ou de cicatrices) entre les canines exposées par un lambeau déplacé apicalement et les canines controlatérales [166]. Le lambeau déplacé apicalement produit de meilleurs résultats esthétiques qu'un accès direct [167, 189], mais les données sont insuffisantes pour conclure quant à la supériorité ou non de l'approche fermée par rapport aux techniques de lambeaux déplacés [189].

Suite à un essai clinique randomisé multicentrique, Parkin et collaborateurs ne rapportent pas de différences d'un point de vue esthétique entre des canines palatines

exposées par une technique ouverte ou fermée [176]. Les orthodontistes et les profanes préféreraient tous deux l'aspect des canines ayant fait éruption de manière naturelle [176].

L'ensemble de ces résultats doit cependant être relativisé par rapport à la capacité des orthodontistes et des profanes à détecter des asymétries des limites gingivales au niveau des canines maxillaires lors du sourire. Le seuil de détection se situe à 1,0 mm pour les orthodontistes et 1,5 à 2,0 mm pour les profanes [192].

6. Long terme des dents résorbées

Les résorptions radiculaires induites par l'évolution d'une canine incluse sont un phénomène asymptomatique et aseptique. Les dents résorbées restent vitales et ne montrent pas de signes d'inflammation pulpaire ou d'infection [9]. La seule différence avec une dent saine réside dans une augmentation du rapport couronne clinique / racine. Elles ne nécessitent aucun autre traitement que d'éloigner l'élément étiologique, à savoir la canine incluse, afin d'arrêter le processus de résorption [9]. Cependant, de nombreux cliniciens envisagent à tort des traitements endodontiques, curetages des lacunes de résorption voire l'avulsion de ces dents résorbées, considérant le pronostic à long terme défavorable [9].

Différents comptes rendus de cas cliniques de résorptions radiculaires sévères de dents adjacentes à des canines incluses maxillaires montrent que ces dents résorbées peuvent être maintenues au long terme après traitement orthodontique avec un bon pronostic [193-198]. Le recul dans ces publications est de 1 à 25 ans. Ces données sont confirmées par des études rétrospectives comportant des échantillons de 20 à 55 incisives résorbées avec un suivi de 1 à 28 ans [155, 199, 200]. L'ensemble de ces dents a subi des mouvements classiques pendant le traitement orthodontique après suppression de la pression exercée par la canine. Becker et Chaushu notent une augmentation de 6% du rapport couronne clinique / racine entre le moment où la canine a été éloignée et la fin du traitement orthodontique [154]. Les lésions restent ensuite stables et les différents auteurs observent une augmentation de la trabéculatation osseuse ainsi qu'une réapparition d'un ligament alvéolo-dentaire et d'une *lamina dura* bien définis, signes d'une cicatrisation [9, 155, 199, 200]. Des concavités

vestibulaires et un amincissement dans le sens vestibulo-palatin du rempart alvéolaire peuvent néanmoins apparaître au cours du temps dans les cas de résorptions sévères, du fait de l'absence de racine dans la portion moyenne et apicale de l'alvéole [9]. Ces dents restent saines et ne montrent pas de signes de mobilité cliniquement augmentée justifiant une contention permanente, cette dernière n'étant qu'à visée orthodontique [9, 155, 197, 199, 200]. L'augmentation progressive de la mobilité d'incisives résorbées dont la longueur radiculaire est inférieure à 10 mm, décrite par Jönsson et collaborateurs, n'est pas significative cliniquement car inférieure au stade 2 de Miller [201].

Contrairement à de nombreuses croyances, les affirmations suivantes peuvent être avancées concernant le long terme des dents résorbées par les canines incluses [9, 155, 197, 199, 200] :

- la progression des résorptions radiculaires s'arrête après éloignement de la canine
- les dents résorbées peuvent ensuite être déplacées orthodontiquement avec un risque minimum de résorption d'origine orthodontique. Les forces doivent cependant être réduites et tenir compte du déplacement occlusal du centre de résistance de la dent. Becker conseille des procédures de finition raisonnables et optimales plutôt qu'idéales
- la cicatrisation se traduit par une densification des trabéculations osseuses et une réapparition d'un ligament alvéolo-dentaire ainsi que d'une *lamina dura*
- les dents restent vitales, un traitement endodontique est inutile
- la mobilité peut être augmentée immédiatement après l'arrêt du traitement orthodontique mais redevient normale pendant le suivi
- une contention n'est à priori pas nécessaire, sauf pour des raisons orthodontiques (maintien de l'alignement)
- le pronostic au long terme est bon.

Conclusions

Les complications les plus fréquemment associées à l'inclusion des canines maxillaires sont les résorptions radiculaires des dents adjacentes. Ce phénomène, autrefois sous-estimé, concernerait jusqu'à 70% des canines incluses selon des études récentes. Ces dernières souffrent néanmoins de biais importants dans la sélection de leur échantillon et ne permettent pas de faire l'état des lieux de l'incidence de ces résorptions radiculaires dans une population d'âge orthodontique avant tout traitement orthodontique. Ce constat fait l'objet d'une étude clinique dans le cadre d'un mémoire de spécialité en orthopédie dento-faciale, dont la partie matériel et méthodes est publiée en annexe de ce travail.

Les dents résorbées sont asymptomatiques et vitales, le diagnostic est de ce fait essentiellement radiologique. L'imagerie bidimensionnelle est indiquée en première intention pour le dépistage de l'inclusion d'une canine maxillaire. Toutefois, du fait des limitations inhérentes à cette méthode, une exploration radiographique tridimensionnelle est aujourd'hui privilégiée en cas de suspicion de résorption radiculaire. Ces techniques permettent d'atteindre une résolution spatiale de l'ordre de 500 μm dans des conditions cliniques. La nécessité de disposer de résolutions spatiales supérieures n'est cependant ni justifiée ni significative d'un point de vue clinique et dosimétrique à l'heure actuelle. L'imagerie tridimensionnelle est à l'origine d'une modification de la prise en charge des canines incluses, le bénéfice pour le patient doit néanmoins être prouvé.

L'attitude thérapeutique est constituée de deux volets. Le premier consiste, face à l'inclusion d'une canine maxillaire en denture mixte, à procéder de façon préventive à l'avulsion de la canine temporaire correspondante. L'effet escompté est la normalisation du chemin d'éruption de la canine permanente afin de se prémunir de résorptions radiculaires des dents adjacentes. Dans le cas d'une suspicion de résorption radiculaire d'une dent adjacente, la deuxième attitude thérapeutique a pour but de supprimer le plus rapidement possible la pression mécanique exercée par la canine. Le traitement le plus fréquemment utilisé à ces fins est la mise en place orthodontique par technique fixe après dégagement chirurgical de la dent incluse. Le pronostic au long terme d'une dent résorbée demeure favorable et contre-indique toutes les mesures invasives telles que l'avulsion, le curetage ou le traitement

endodontique. La conservation de ces dents doit être en conséquence privilégiée, permettant ainsi d'éviter ou de différer des réhabilitations prothétiques en secteur esthétique auprès de jeunes patients.

SIGNATURE DES CONCLUSIONS

Thèse en vue du Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Nom - prénom de l'impétrant : RAFFLENBEUL Frédéric

Titre de la thèse : Les résorptions radiculaires des dents adjacentes aux canines maxillaires
incluses.

Directeur de thèse : Docteur BOLENDER Yves

VU

Strasbourg, le :
Le Président du Jury,



Professeur M. MINOUX

VU

24 MARS 2017

Strasbourg, le :
Le Doyen de la Faculté
de Chirurgie Dentaire de Strasbourg,



Professeur C. TADDEI

Annexe : matériel et méthodes du mémoire

Cette étude rétrospective a été réalisée à partir des patients adressés pour l'exploration par CBCT de l'éruption anormale ou ectopique d'une ou des deux canines maxillaires permanentes, à l'Unité Fonctionnelle de Radiologie, Pôle de Médecine et de Chirurgie Bucco-Dentaires des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg (France), entre Juillet 2010 et Juillet 2017.

▪ Critères d'inclusion et d'exclusion

Les critères d'inclusion étaient :

- âge orthodontique classique (8 – 17 ans)
- patient adressé pour une exploration par CBCT de l'éruption anormale ou ectopique d'une ou des deux canines maxillaires permanentes après examen clinique et radiologique 2D préalable.

Les critères d'exclusion étaient :

- âge supérieur à un âge orthodontique classique (8 – 17 ans)
- antécédent de tout traitement orthodontique actif avant la réalisation du CBCT (hors mainteneur d'espace)
- syndromes
- patients présentant des tumeurs odontogènes / odontomes / dents surnuméraires / kystes en rapport avec la canine maxillaire étudiée.

▪ Exploration radiologique

L'ensemble des acquisitions a été réalisé avec une unité NewTom™ VGi (QR s.r.l, Vérone, Italie) et le protocole prédéfini « Hi Res ». Le champ de vue (FOV : *field of view*) était de 8 x 8 cm et la taille des voxels de 150 μm^3 . Le courant était de 110 kV avec une modulation de l'intensité en fonction du patient, pour un temps d'exposition de 3,6 à 5,4 secondes. La visualisation des données obtenues a été faite avec le logiciel du fabricant, à savoir NNT Viewer™ (NewTom, QR s.r.l, Vérone, Italie), en utilisant essentiellement les reconstructions MPR et panoramiques.

▪ Variables étudiées

Les variables étudiées étaient :

- âge du patient
- sexe
- canine maxillaire ectopique unilatérale ou bilatérale
- position vestibulo-palatine de la canine évaluée sur des coupes axiales de CBCT : palatine, vestibulaire ou au centre de l'alvéole (cf Olsen 2015)
- position mésio-distale de la pointe cuspidienne dans les secteurs 1 à 5 sur la reconstruction panoramique à partir du CBCT (Ericson et Kurol 1988 + Olsen 2015)
- distance « d » de la pointe cuspidienne jusqu'au plan occlusal mesurée sur la reconstruction panoramique du CBCT (cf Ericson et Kurol 1988)
- angle « alpha » entre l'axe longitudinal de la canine et la ligne médiane à partir de la reconstruction panoramique du CBCT (cf Ericson et Kurol 1988)
- taille maximale du sac folliculaire mesurée perpendiculairement par rapport à la couronne sur des coupes axiales le long de l'axe longitudinal de la canine : follicule élargi si taille supérieure à 3 mm, follicule normal si taille inférieure à 3 mm (cf Ericson 2002, Lai 2013, Cernochova 2011)
- présence d'un contact direct entre la couronne de la canine et la racine d'une dent adjacente : contact si distance inférieure à 0,5 mm (cf Walker 2005 et Lai 2013)
- état de l'incisive latérale maxillaire : normale, riziforme ou agénésie.

La présence de résorptions radiculaires des dents adjacentes (incisive latérale, incisive centrale, première prémolaire ainsi que seconde prémolaire / première molaire si proximité avec la canine ectopique) a été étudiée grâce aux reconstructions MPR selon l'axe longitudinal de chacune des dents :

- nombre de canines à l'origine de résorptions radiculaires des dents adjacentes
- résorption radiculaire présente / absente pour chaque dent adjacente analysée
- sévérité de la résorption évaluée d'après la classification d'Ericson et Kurol : légère si atteinte jusqu'à la moitié de l'épaisseur dentinaire, modérée si

supérieure à la moitié dentinaire sans atteinte pulpaire, sévère en cas d'atteinte pulpaire

- localisation verticale de la résorption radiculaire : tiers cervical, moyen, apical ou une combinaison de plusieurs niveaux.

- **Corrélation intra et inter-examineurs**

Afin d'obtenir la corrélation intra et inter-examineurs, 15 canines choisies par un générateur de nombre aléatoire ont été réanalysées par l'opérateur FR ainsi que par le second opérateur RM.

Références bibliographiques

1. ANAES. Indications et non-indications de l'avulsion des troisièmes molaires mandibulaires. Recommandations et références médicales. Paris : ANAES ; 1997.
2. SFODF. Dictionnaire d'Orthognathodontie. 3 ed. Paris : Société Française d'Orthopédie Dento-Faciale ; 2015.
3. Becker A, Chaushu S. Etiology of maxillary canine impaction : a review. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2015 ; 148 (4) : 557-67.
4. Thilander B, Myrberg N. The prevalence of malocclusion in Swedish schoolchildren. Scand J Dent Res. 1973 ; 81 (1) : 12-21.
5. Litsas G, Acar A. A review of early displaced maxillary canines : etiology, diagnosis and interceptive treatment. Open Dent J. 2011 ; 5 : 39-47.
6. Algerban A, Jacobs R, Lambrechts P, Loozen G, Willems G. Root resorption of the maxillary lateral incisor caused by impacted canine : a literature review. Clin Oral Investig. 2009 ; 13 (3) : 247-55.
7. Kurol J, Ericson S, Andreasen JO. The Impacted Maxillary Canine. Textbook and Colour Atlas of Tooth Impactions. Chichester : Wiley-Blackwell ; 1997, 125-65.
8. Peck S, Peck L, Kataja M. The palatally displaced canine as a dental anomaly of genetic origin. Angle Orthod. 1994 ; 64 (4) : 249-56.
9. Becker A. Orthodontic Treatment of Impacted Teeth. 3 ed. Chichester : Wiley-Blackwell ; 2012.
10. Thilander B, Jakobsson SO. Local factors in impaction of maxillary canines. Acta Odontol Scand. 1968 ; 26 (2) : 145-68.
11. Ericson S, Kurol J. Radiographic assessment of maxillary canine eruption in children with clinical signs of eruption disturbance. Eur J Orthod. 1986 ; 8 (3) : 133-40.

12. Takahama Y, Aiyama Y. Maxillary canine impaction as a possible microform of cleft lip and palate. *Eur J Orthod.* 1982 ; 4 (4) : 275-7.
13. Ericson S, Kurol J. Radiographic examination of ectopically erupting maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987 ; 91 (6) : 483-92.
14. Liu DG, Zhang WL, Zhang ZY, Wu YT, Ma XC. Localization of impacted maxillary canines and observation of adjacent incisor resorption with cone-beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008 ; 105 (1) : 91-8.
15. Korbendau JM, Patti A. *Le Traitement Orthodontique et Chirurgical des Dent Incluses.* Paris : Quintessence International ; 2005.
16. Ericson S, Kurol J. Longitudinal study and analysis of clinical supervision of maxillary canine eruption. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1986 ; 14 (3) : 172-6.
17. Hurme VO. Ranges of normalcy in the eruption of permanent teeth. *J Dent Child.* 1949 ; 16 (2) : 11-5.
18. Rawson KG, Hofelich R, Welch DB, Stoeckel DC. Eruption sequence of the permanent maxillary canine : a radiographic review. *Gen Dent.* 2014 ; 62 (4) : e9-e11.
19. Rousset MM, Boualam N, Delfosse C, Roberts WE. Emergence of permanent teeth : secular trends and variance in a modern sample. *J Dent Child.* 2003 ; 70 (3) : 208-14.
20. Sajnani AK. Permanent maxillary canines - review of eruption pattern and local etiological factors leading to impaction. *J Investig Clin Dent.* 2015 ; 6 (1) : 1-7.
21. Peck S. Misleading article on palatally displaced canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016 ; 149 (2) : 149-50.
22. Peck S, Peck L, Kataja M. Concomitant occurrence of canine malposition and tooth agenesis : evidence of orofacial genetic fields. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002 ; 122 (6) : 657-60.

23. Langberg BJ, Peck S. Tooth-size reduction associated with occurrence of palatal displacement of canines. *Angle Orthod.* 2000 ; 70 (2) : 126-8.
24. Peck S, Peck L, Kataja M. Prevalence of tooth agenesis and peg-shaped maxillary lateral incisor associated with palatally displaced canine (PDC) anomaly. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996 ; 110 (4) : 441-3.
25. Chaushu S, Sharabi S, Becker A. Dental morphologic characteristics of normal versus delayed developing dentitions with palatally displaced canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002 ; 121 (4) : 339-46.
26. Lempesi E, Karamolegkou M, Pandis N, Mavragani M. Maxillary canine impaction in orthodontic patients with and without agenesis : a cross-sectional radiographic study. *Angle Orthod.* 2014 ; 84 (1) : 11-7.
27. Jacobs SG. The impacted maxillary canine. Further observations on aetiology, radiographic localization, prevention/interception of impaction, and when to suspect impaction. *Aust Dent J.* 1996 ; 41 (5) : 310-6.
28. Camilleri S, Lewis CM, McDonald F. Ectopic maxillary canines : segregation analysis and a twin study. *J Dent Res.* 2008 ; 87 (6) : 580-3.
29. Chung DD, Weisberg M, Pagala M. Incidence and effects of genetic factors on canine impaction in an isolated Jewish population. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011 ; 139 (4) : e331-5.
30. Broadbent BH. Ontogenic Development of Occlusion. *Angle Orthod.* 1941 ; 11 (4) : 223-41.
31. Becker A, Smith P, Behar R. The incidence of anomalous maxillary lateral incisors in relation to palatally-displaced cuspids. *Angle Orthod.* 1981 ; 51 (1) : 24-9.
32. Becker A, Zilberman Y, Tsur B. Root length of lateral incisors adjacent to palatally-displaced maxillary cuspids. *Angle Orthod.* 1984 ; 54 (3) : 218-25.
33. Liuk IW, Olive RJ, Griffin M, Monsour P. Maxillary lateral incisor morphology and palatally displaced canines : a case-controlled cone-beam volumetric tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013 ; 143 (4) : 522-6.

34. Becker A. Etiology of maxillary canine impactions. *Am J Orthod.* 1984 ; 86 (5) : 437-8.
35. Moskowitz EM, Garcia RC. The management of palatally displaced maxillary canines : Considerations and challenges. *Semin Orthod.* 2014 ; 20 (1) : 46-58.
36. Jacoby H. The etiology of maxillary canine impactions. *Am J Orthod.* 1983 ; 84 (2) : 125-32.
37. Hong WH, Radfar R, Chung CH. Relationship between the maxillary transverse dimension and palatally displaced canines : A cone-beam computed tomographic study. *Angle Orthod.* 2015 ; 85 (3) : 440-5.
38. Yan B, Sun Z, Fields H, Wang L, Luo L. Etiologic factors for buccal and palatal maxillary canine impaction : a perspective based on cone-beam computed tomography analyses. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013 ; 143 (4) : 527-34.
39. Chaushu S, Zilberman Y, Becker A. Maxillary incisor impaction and its relationship to canine displacement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003 ; 124 (2) : 144-50.
40. Ericson S, Kurol J. Early treatment of palatally erupting maxillary canines by extraction of the primary canines. *Eur J Orthod.* 1988 ; 10 (4) : 283-95.
41. Lindauer SJ, Rubenstein LK, Hang WM, Andersen WC, Isaacson RJ. Canine Impaction Identified Early with Panoramic Radiographs. *J Am Dent Assoc.* 1992 ; 123 (3) : 91-97.
42. Warford JH, Grandhi RK, Tira DE. Prediction of maxillary canine impaction using sectors and angular measurement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003 ; 124 (6) : 651-55.
43. Sajnani AK, King NM. Early prediction of maxillary canine impaction from panoramic radiographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012 ; 142 (1) : 45-51.
44. Bazargani F, Magnuson A, Dolati A, Lennartsson B. Palatally displaced maxillary canines : factors influencing duration and cost of treatment. *Eur J Orthod.* 2013 ; 35 (3) : 310-6.

45. Becker A, Chaushu S. Success rate and duration of orthodontic treatment for adult patients with palatally impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003 ; 124 (5) : 509-14.
46. Stewart JA, Heo G, Glover KE, et al. Factors that relate to treatment duration for patients with palatally impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001 ; 119 (3) : 216-25.
47. Buchner HJ. Root resorption caused by ectopic eruption of maxillary cuspid. *Int J Orthod Oral Surg.* 1936 ; 22 (12) : 1236-38.
48. Naoumova J, Kurol J, Kjellberg H. A systematic review of the interceptive treatment of palatally displaced maxillary canines. *Eur J Orthod.* 2011 ; 33 (2) : 143-9.
49. Parkin NA. Extraction of primary (baby) teeth for unerupted palatally displaced permanent canine teeth in children (Review). *Cochrane.* 2009.
50. Bazargani F, Magnuson A, Lennartsson B. Effect of interceptive extraction of deciduous canine on palatally displaced maxillary canine : a prospective randomized controlled study. *Angle Orthod.* 2014 ; 84 (1) : 3-10.
51. Naoumova J, Kurol J, Kjellberg H. Extraction of the deciduous canine as an interceptive treatment in children with palatal displaced canines - part I : shall we extract the deciduous canine or not ? *Eur J Orthod.* 2015 ; 37 (2) : 209-18.
52. Naoumova J, Kurol J, Kjellberg H. Extraction of the deciduous canine as an interceptive treatment in children with palatally displaced canines - part II : possible predictors of success and cut-off points for a spontaneous eruption. *Eur J Orthod.* 2015 ; 37 (2) : 219-29.
53. Baccetti T, Mucedero M, Leonardi M, Cozza P. Interceptive treatment of palatal impaction of maxillary canines with rapid maxillary expansion : a randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 ; 136 (5) : 657-61.
54. Armi P, Cozza P, Baccetti T. Effect of RME and headgear treatment on the eruption of palatally displaced canines : a randomized clinical study. *Angle Orthod.* 2011 ; 81 (3) : 370-4.

55. Alessandri Bonetti G, Zanarini M, Incerti Parenti S, Marini I, Gatto MR. Preventive treatment of ectopically erupting maxillary permanent canines by extraction of deciduous canines and first molars : A randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011 ; 139 (3) : 316-23.
56. Baccetti T, Sigler LM, McNamara JA, Jr. An RCT on treatment of palatally displaced canines with RME and/or a transpalatal arch. *Eur J Orthod.* 2011 ; 33 (6) : 601-7.
57. Sigler LM, Baccetti T, McNamara JA, Jr. Effect of rapid maxillary expansion and transpalatal arch treatment associated with deciduous canine extraction on the eruption of palatally displaced canines : A 2-center prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011 ; 139 (3) : e235-44.
58. Baccetti T, Leonardi M, Armi P. A randomized clinical study of two interceptive approaches to palatally displaced canines. *Eur J Orthod.* 2008 ; 30 (4) : 381-5.
59. Leonardi M, Armi P, Franchi L, Baccetti T. Two interceptive approaches to palatally displaced canines : a prospective longitudinal study. *Angle Orthod.* 2004 ; 74 (5) : 581-6.
60. Ashkenazi M, Greenberg BP, Chodik G, Rakocz M. Postoperative prognosis of unerupted teeth after removal of supernumerary teeth or odontomas. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 ; 131 (5) : 614-9.
61. Nishikawa M, Yamamoto G, Keisuke O, et al. Orthodontic treatment of deep impacted teeth in multiple keratocystic odontogenic tumor. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011 ; 69 (6) : 1691-3.
62. Hyomoto M, Kawakami M, Inoue M, Kirita T. Clinical conditions for eruption of maxillary canines and mandibular premolars associated with dentigerous cysts. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003 ; 124 (5) : 515-20.
63. Miyawaki S, Hyomoto M, Tsubouchi J, Kirita T, Sugimura M. Eruption speed and rate of angulation change of a cyst-associated mandibular second premolar after marsupialization of a dentigerous cyst. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999 ; 116 (5) : 578-84.

64. Yahara Y, Kubota Y, Yamashiro T, Shirasuna K. Eruption prediction of mandibular premolars associated with dentigerous cysts. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009 ; 108 (1) : 28-31.
65. Fujii R, Kawakami M, Hyomoto M, Ishida J, Kirita T. Panoramic findings for predicting eruption of mandibular premolars associated with dentigerous cyst after marsupialization. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008 ; 66 (2) : 272-6.
66. Becker A, Chaushu S. Les six formes de résorption associées à l'inclusion dentaire. *Orthod Fr.* 2015 ; 86 (4) : 277-86.
67. Azaz B, Shteyer A. Resorption of the crown in impacted maxillary canine. A clinical, radiographic and histologic study. *Int J Oral Surg.* 1978 ; 7 (3) : 167-71.
68. Tronstad L. Root resorption--etiology, terminology and clinical manifestations. *Endod Dent Traumatol.* 1988 ; 4 (6) : 241-52.
69. Heithersay GS. Management of tooth resorption. *Aust Dent J.* 2007 ; 52 (1 Suppl) : S105-21.
70. Ericson S, Bjerklin K, Falahat B. Does the canine dental follicle cause resorption of permanent incisor roots ? A computed tomographic study of erupting maxillary canines. *Angle Orthod.* 2002 ; 72 (2) : 95-104.
71. Ericson S, Kuroi PJ. Resorption of incisors after ectopic eruption of maxillary canines : a CT study. *Angle Orthod.* 2000 ; 70 (6) : 415-23.
72. Walker L, Enciso R, Mah J. Three-dimensional localization of maxillary canines with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 ; 128 (4) : 418-23.
73. Cernochova P, Krupa P, Izakovicova-Holla L. Root resorption associated with ectopically erupting maxillary permanent canines : a computed tomography study. *Eur J Orthod.* 2011 ; 33 (5) : 483-91.
74. Jung YH, Liang H, Benson BW, Flint DJ, Cho BH. The assessment of impacted maxillary canine position with panoramic radiography and cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012 ; 41 (5) : 356-60.

75. Kim Y, Hyun HK, Jang KT. The position of maxillary canine impactions and the influenced factors to adjacent root resorption in the Korean population. *Eur J Orthod.* 2012 ; 34 (3) : 302-6.
76. Oberoi S, Knueppel S. Three-dimensional assessment of impacted canines and root resorption using cone beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2012 ; 113 (2) : 260-7.
77. Yan B, Sun Z, Fields H, Wang L. Maxillary canine impaction increases root resorption risk of adjacent teeth : a problem of physical proximity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012 ; 142 (6) : 750-7.
78. Lai CS, Bornstein MM, Mock L, et al. Impacted maxillary canines and root resorptions of neighbouring teeth : a radiographic analysis using cone-beam computed tomography. *Eur J Orthod.* 2013 ; 35 (4) : 529-38.
79. Schindel RH, Sheinis MR. Prediction of maxillary lateral-incisor root resorption using sector analysis of potentially impacted canines. *J Clin Orthod.* 2013 ; 47 (8) : 490-3.
80. Strbac GD, Foltin A, Gahleitner A, et al. The prevalence of root resorption of maxillary incisors caused by impacted maxillary canines. *Clin Oral Investig.* 2013 ; 17 (2) : 553-64.
81. Almuhtaseb E, Mao J, Mahony D, Bader R, Zhang ZX. Three-dimensional localization of impacted canines and root resorption assessment using cone beam computed tomography. *J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci.* 2014 ; 34 (3) : 425-30.
82. da Silva Santos LM, Bastos LC, Oliveira-Santos C, et al. Cone-beam computed tomography findings of impacted upper canines. *Imaging Sci Dent.* 2014 ; 44 (4) : 287-92.
83. Algerban A, Jacobs R, Fieuws S, Willems G. Radiographic predictors for maxillary canine impaction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015 ; 147 (3) : 345-54.

84. Amar D. Utilisation du Cone Beam Computed Tomography dans le diagnostic positionnel des canines incluses maxillaires. Thèse d'odontologie. Université de Strasbourg ; 2015.
85. Dogramaci EJ, Sherriff M, Rossi-Fedele G, McDonald F. Location and severity of root resorption related to impacted maxillary canines : a cone beam computed tomography (CBCT) evaluation. *Aust Orthod J.* 2015 ; 31 (1) : 49-58.
86. Hadler-Olsen S, Pirttiniemi P, Kerosuo H, et al. Root resorptions related to ectopic and normal eruption of maxillary canine teeth - A 3D study. *Acta Odontol Scand.* 2015 ; 73 (8) : 609-15.
87. Ericson S, Kurol J. Incisor resorption caused by maxillary cuspids. A radiographic study. *Angle Orthod.* 1987 ; 57 (4) : 332-46.
88. Rimes RJ, Mitchell CN, Willmot DR. Maxillary incisor root resorption in relation to the ectopic canine : a review of 26 patients. *Eur J Orthod.* 1997 ; 19 (1) : 79-84.
89. Algerban A, Jacobs R, Fieuws S, Willems G. Predictors of root resorption associated with maxillary canine impaction in panoramic images. *Eur J Orthod.* 2016 ; 38 (3) : 292-9.
90. Davies KR, Schneider GB, Southard TE, et al. Deciduous canine and permanent lateral incisor differential root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001 ; 120 (4) : 339-47.
91. Lee A, Schneider G, Finkelstein M, Southard T. Root resorption : The possible role of extracellular matrix proteins. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 ; 126 (2) : 173-77.
92. Ericson S, Kurol J. Resorption of maxillary lateral incisors caused by ectopic eruption of the canines. A clinical and radiographic analysis of predisposing factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1988 ; 94 (6) : 503-13.
93. Chaushu S, Kaczor-Urbanowicz K, Zadurska M, Becker A. Predisposing factors for severe incisor root resorption associated with impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015 ; 147 (1) : 52-60.

94. Brin I, Becker A, Zilberman Y. Resorbed lateral incisors adjacent to impacted canines have normal crown size. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993 ; 104 (1) : 60-6.
95. Kumar S, Mehrotra P, Bhagchandani J, et al. Localization of impacted canines. *J Clin Diagn Res.* 2015 ; 9 (1) : ZE11-4.
96. Dillenseger JP, Moerschel E. *Guide des Technologies de l'Imagerie Médicale et de la Radiothérapie : quand la théorie éclaire la pratique.* Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2009.
97. Heimisdottir K, Bosshardt D, Ruf S. Can the severity of root resorption be accurately judged by means of radiographs ? A case report with histology. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 ; 128 (1) : 106-9.
98. Ericson S, Kurol J. Incisor root resorptions due to ectopic maxillary canines imaged by computerized tomography : a comparative study in extracted teeth. *Angle Orthod.* 2000 ; 70 (4) : 276-83.
99. Ericson S, Kurol J. CT diagnosis of ectopically erupting maxillary canines--a case report. *Eur J Orthod.* 1988 ; 10 (2) : 115-21.
100. Preda L, La Fianza A, Di Maggio EM, et al. The use of spiral computed tomography in the localization of impacted maxillary canines. *Dentomaxillofac Radiol.* 1997 ; 26 (4) : 236-41.
101. Schmuth GP, Freisfeld M, Koster O, Schuller H. The application of computerized tomography (CT) in cases of impacted maxillary canines. *Eur J Orthod.* 1992 ; 14 (4) : 296-301.
102. Dillenseger JP, Matern JF, Gros CI, et al. MSCT versus CBCT : evaluation of high-resolution acquisition modes for dento-maxillary and skull-base imaging. *Eur Radiol.* 2015 ; 25 (2) : 505-15.
103. Kapila SD, Nervina JM. CBCT in orthodontics : assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015 ; 44 (1) : 20140282.

104. Kapila S. Cone Beam Computed Tomography in Orthodontics : Indications, Insights and Innovations. Chichester : Wiley-Blackwell ; 2014.
105. Chaushu S, Chaushu G, Becker A. The role of digital volume tomography in the imaging of impacted teeth. *World J Orthod*; 2004 ; 5 (2) : 120-32.
106. Naoumova J, Kjellberg H, Palm R. Cone-beam computed tomography for assessment of palatal displaced canine position : a methodological study. *Angle Orthod*. 2014 ; 84 (3) : 459-66.
107. Kapila S, Conley RS, Harrell WE, Jr. The current status of cone beam computed tomography imaging in orthodontics. *Dentomaxillofac Radiol*. 2011 ; 40 (1) : 24-34.
108. Rossini G, Cavallini C, Cassetta M, Galluccio G, Barbato E. Localization of impacted maxillary canines using cone beam computed tomography. Review of the literature. *Ann Stomatol*. 2012 ; 3 (1) : 14-8.
109. American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. Clinical recommendations regarding use of cone beam computed tomography in orthodontics : Position statement by the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2013 ; 116 (2) : 238-57.
110. HAS. Tomographie Volumique à Faisceau Conique de la Face (CBCT) : avis sur les actes. 2009.
111. SEDENTEXCT. Radiation protection : cone beam CT for dental and maxillofacial radiology : evidence-based guidelines. 2011.
112. Halazonetis DJ. Cone-beam computed tomography is not the imaging technique of choice for comprehensive orthodontic assessment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2012 ; 141 (4) : 403-7.
113. Larson BE. Cone-beam computed tomography is the imaging technique of choice for comprehensive orthodontic assessment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2012 ; 141 (4) : 402-6.
114. Eslami E, Barkhordar H, Abramovitch K, Kim J, Masoud MI. Cone-beam computed tomography vs conventional radiography in visualization of maxillary

impacted-canine localization : A systematic review of comparative studies. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017 ; 151 (2) : 248-58.

115. Kwong JC, Palomo JM, Landers MA, Figueroa A, Hans MG. Image quality produced by different cone-beam computed tomography settings. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008 ; 133 (2) : 317-27.

116. Lofthag-Hansen S, Thilander-Klang A, Grondahl K. Evaluation of subjective image quality in relation to diagnostic task for cone beam computed tomography with different fields of view. *Eur J Radiol.* 2011 ; 80 (2) : 483-8.

117. Pauwels R, Araki K, Siewerdsen JH, Thongvigitmanee SS. Technical aspects of dental CBCT : state of the art. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015 ; 44 (1) : 20140224.

118. Brullmann D, Schulze RK. Spatial resolution in CBCT machines for dental/maxillofacial applications-what do we know today ? *Dentomaxillofac Radiol.* 2015 ; 44 (1) : 20140204.

119. Dillenseger JP, Gros CI, Sayeh A, et al. Image quality evaluation of small FOV and large FOV CBCT devices for oral and maxillofacial radiology. *Dentomaxillofac Radiol.* 2016 : 20160285.

120. Scarfe WC, Li Z, Aboelmaaty W, Scott SA, Farman AG. Maxillofacial cone beam computed tomography : essence, elements and steps to interpretation. *Aust Dent J.* 2012 ; 57 (Suppl 1) : 46-60.

121. Liedke GS, da Silveira HE, da Silveira HL, Dutra V, de Figueiredo JA. Influence of voxel size in the diagnostic ability of cone beam tomography to evaluate simulated external root resorption. *J Endod.* 2009 ; 35 (2) : 233-5.

122. Dalili Z, Taramsari M, Mousavi Mehr SZ, Salamat F. Diagnostic value of two modes of cone-beam computed tomography in evaluation of simulated external root resorption : an in vitro study. *Imaging Sci Dent.* 2012 ; 42 (1) : 19-24.

123. Kamburoglu K, Kursun S. A comparison of the diagnostic accuracy of CBCT images of different voxel resolutions used to detect simulated small internal resorption cavities. *Int Endod J.* 2010 ; 43 (9) : 798-807.

124. Ponder SN, Benavides E, Kapila S, Hatch NE. Quantification of external root resorption by low- vs high-resolution cone-beam computed tomography and periapical radiography : A volumetric and linear analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013 ; 143 (1) : 77-91.
125. Algerban A, Jacobs R, Fieuws S, et al. Comparison of 6 cone-beam computed tomography systems for image quality and detection of simulated canine impaction-induced external root resorption in maxillary lateral incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011 ; 140 (3) : e129-39.
126. Neves FS, Vasconcelos TV, Vaz SL, Freitas DQ, Haiter-Neto F. Evaluation of reconstructed images with different voxel sizes of acquisition in the diagnosis of simulated external root resorption using cone beam computed tomography. *Int Endod J.* 2012 ; 45 (3) : 234-9.
127. de Azevedo Vaz SL, Vasconcelos TV, Neves FS, de Freitas DQ, Haiter-Neto F. Influence of cone-beam computed tomography enhancement filters on diagnosis of simulated external root resorption. *J Endod.* 2012 ; 38 (3) : 305-8.
128. Schulze R, Heil U, Gross D, et al. Artefacts in CBCT : a review. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011 ; 40 (5) : 265-73.
129. Spin-Neto R, Wenzel A. Patient movement and motion artefacts in cone beam computed tomography of the dentomaxillofacial region : a systematic literature review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2016 ; 121 (4) : 425-33.
130. Liang X, Jacobs R, Hassan B, et al. A comparative evaluation of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT) Part I. On subjective image quality. *Eur J Radiol.* 2010 ; 75 (2) : 265-9.
131. Hofmann E, Schmid M, Lell M, Hirschfelder U. Cone beam computed tomography and low-dose multislice computed tomography in orthodontics and dentistry : a comparative evaluation on image quality and radiation exposure. *J Orofac Orthop.* 2014 ; 75 (5) : 384-98.

132. Freisfeld M, Dahl IA, Jager A, Drescher D, Schuller H. X-ray diagnosis of impacted upper canines in panoramic radiographs and computed tomographs. *J Orofac Orthop.* 1999 ; 60 (3) : 177-84.
133. Estrela C, Bueno MR, De Alencar AH, et al. Method to evaluate inflammatory root resorption by using cone beam computed tomography. *J Endod.* 2009 ; 35 (11) : 1491-7.
134. Alqerban A, Jacobs R, Fieuws S, Willems G. Comparison of two cone beam computed tomographic systems versus panoramic imaging for localization of impacted maxillary canines and detection of root resorption. *Eur J Orthod.* 2011 ; 33 (1) : 93-102.
135. Jawad Z, Carmichael F, Houghton N, Bates C. A review of cone beam computed tomography for the diagnosis of root resorption associated with impacted canines, introducing an innovative root resorption scale. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2016 ; 122 (6) : 765-771.
136. Lima TF, Gamba TO, Zaia AA, Soares AJ. Evaluation of cone beam computed tomography and periapical radiography in the diagnosis of root resorption. *Aust Dent J.* 2016 ; 61 (4) : 425-431.
137. Alqerban A, Jacobs R, Souza PC, Willems G. In-vitro comparison of 2 cone-beam computed tomography systems and panoramic imaging for detecting simulated canine impaction-induced external root resorption in maxillary lateral incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 ; 136 (6) : 764 e1-11.
138. Durack C, Patel S, Davies J, Wilson R, Mannocci F. Diagnostic accuracy of small volume cone beam computed tomography and intraoral periapical radiography for the detection of simulated external inflammatory root resorption. *Int Endod J.* 2011 ; 44 (2) : 136-47.
139. Kumar V, Gossett L, Blattner A, et al. Comparison between cone-beam computed tomography and intraoral digital radiography for assessment of tooth root lesions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011 ; 139 (6) : e533-41.

140. Creanga AG, Geha H, Sankar V, et al. Accuracy of digital periapical radiography and cone-beam computed tomography in detecting external root resorption. *Imaging Sci Dent.* 2015 ; 45 (3) : 153-8.
141. Takeshita WM, Chicarelli M, Iwaki LC. Comparison of diagnostic accuracy of root perforation, external resorption and fractures using cone-beam computed tomography, panoramic radiography and conventional & digital periapical radiography. *Indian J Dent Res.* 2015 ; 26 (6) : 619-26.
142. Bjerklin K, Ericson S. How a computerized tomography examination changed the treatment plans of 80 children with retained and ectopically positioned maxillary canines. *Angle Orthod.* 2006 ; 76 (1) : 43-51.
143. Alqerban A, Hedesiu M, Baciut M, et al. Pre-surgical treatment planning of maxillary canine impactions using panoramic vs cone beam CT imaging. *Dentomaxillofac Radiol.* 2013 ; 42 (9) : 20130157.
144. Haney E, Gansky SA, Lee JS, et al. Comparative analysis of traditional radiographs and cone-beam computed tomography volumetric images in the diagnosis and treatment planning of maxillary impacted canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010 ; 137 (5) : 590-7.
145. Botticelli S, Verna C, Cattaneo PM, Heidmann J, Melsen B. Two- versus three-dimensional imaging in subjects with unerupted maxillary canines. *Eur J Orthod.* 2011 ; 33 (4) : 344-9.
146. Bjerklin K, Bondemark L. Management of ectopic maxillary canines : variations among orthodontists. *Angle Orthod.* 2008 ; 78 (5) : 852-9.
147. Katheria BC, Kau CH, Tate R, et al. Effectiveness of impacted and supernumerary tooth diagnosis from traditional radiography versus cone beam computed tomography. *Pediatr Dent.* 2010 ; 32 (4) : 304-9.
148. Wriedt S, Jaklin J, Al-Nawas B, Wehrbein H. Impacted upper canines : examination and treatment proposal based on 3D versus 2D diagnosis. *J Orofac Orthop.* 2012 ; 73 (1) : 28-40.

149. Algerban A, Jacobs R, van Keirsbilck PJ, et al. The effect of using CBCT in the diagnosis of canine impaction and its impact on the orthodontic treatment outcome. *J Orthod Sci.* 2014 ; 3 (2) : 34-40.
150. Lai CS, Suter VG, Katsaros C, Bornstein MM. Localization of impacted maxillary canines and root resorption of neighbouring teeth : a study assessing the diagnostic value of panoramic radiographs in two groups of observers. *Eur J Orthod.* 2014 ; 36 (4) : 450-6.
151. Ludlow JB, Timothy R, Walker C, et al. Effective dose of dental CBCT-a meta analysis of published data and additional data for nine CBCT units. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015 ; 44 (1) : 20140197.
152. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, White SC. Patient Risk Related to Common Dental Radiographic Examinations. *J Am Dent Assoc.* 2008 ; 139 (9) : 1237-43.
153. SFSCMFCO. Prise en charge d'une canine incluse : recommandations de bonne pratique. 2015.
154. Brook PH, Shaw WC. The development of an index of orthodontic treatment priority. *Eur J Orthod.* 1989 ; 11 (3) : 309-20.
155. Becker A, Chaushu S. Long-term follow-up of severely resorbed maxillary incisors after resolution of an etiologically associated impacted canine. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 ; 127 (6) : 650-4.
156. Kokich VG. Surgical and orthodontic management of impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 ; 126 (3) : 278-83.
157. Kokich VG. Preorthodontic Uncovering and Autonomous Eruption of Palatally Impacted Maxillary Canines. *Semin Orthod.* 2010 ; 16 (3) : 205-11.
158. Mathews DP, Kokich VG. Palatally impacted canines : the case for preorthodontic uncovering and autonomous eruption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013 ; 143 (4) : 450-8.
159. Shroff B. Canine impaction : diagnosis, treatment planning, and clinical management ; 1997.

160. Bishara SE. Clinical management of impacted maxillary canines. *Semin Orthod.* 1998 ; 4 (2) : 87-98.
161. Thebault B, Dutertre E. Disimpaction of maxillary canines using temporary bone anchorage and cantilever springs. *Int Orthod.* 2015 ; 13 (1) : 61-80.
162. Becker A, Chaushu G, Chaushu S. Analysis of failure in the treatment of impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010 ; 137 (6) : 743-54.
163. Chaushu S, Chaushu G. Skeletal Implant Anchorage in the Treatment of Impacted Teeth—A Review of the State of the Art. *Semin Orthod.* 2010 ; 16 (3) : 234-41.
164. Kocsis A, Seres L. Orthodontic screws to extrude impacted maxillary canines. *J Orofac Orthop.* 2012 ; 73 (1) : 19-27.
165. Nienkemper M, Wilmes B, Lubberink G, Ludwig B, Drescher D. Extrusion of impacted teeth using mini-implant mechanics. *J Clin Orthod.* 2012 ; 46 (3) : 150-5.
166. Vanarsdall RL. Efficient Management of Unerupted Teeth : A Time-Tested Treatment Modality. *Semin Orthod.* 2010 ; 16 (3) : 212-21.
167. Vanarsdall RL, Corn H. Soft-tissue management of labially positioned unerupted teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 ; 125 (3) : 284-93.
168. Vermette ME, Kokich VG, Kennedy DB. Uncovering labially impacted teeth : apically positioned flap and closed-eruption techniques. *Angle Orthod.* 1995 ; 65 (1) : 23-32.
169. Becker A, Chaushu S. Palatally impacted canines : the case for closed surgical exposure and immediate orthodontic traction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013 ; 143 (4) : 451-9.
170. Burden DJ, Mullally BH, Robinson SN. Palatally ectopic canines : closed eruption versus open eruption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999 ; 115 (6) : 640-4.

171. Gharaibeh TM, Al-Nimri KS. Postoperative pain after surgical exposure of palatally impacted canines : closed-eruption versus open-eruption, a prospective randomized study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008 ; 106 (3) : 339-42.
172. Parkin NA. Open versus closed surgical exposure of canine teeth that are displaced in the roof of the mouth (Review). *Cochrane.* 2008.
173. Parkin NA, Deery C, Smith AM, et al. No difference in surgical outcomes between open and closed exposure of palatally displaced maxillary canines. *J Oral Maxillofac Surg.* 2012 ; 70 (9) : 2026-34.
174. Lindauer SJ, Isaacson RJ. One-couple orthodontic appliance systems. *Semin Orthod.* 1995 ; 1 (1) : 12-24.
175. Burstone C, Choy K. *The biomechanical foundation of clinical orthodontics.* Chicago IL : Quintessence Publishing Co ; 2015.
176. Parkin NA, Freeman JV, Deery C, Benson PE. Esthetic judgments of palatally displaced canines 3 months postdebond after surgical exposure with either a closed or an open technique. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015 ; 147 (2) : 173-81.
177. Schmidt AD, Kokich VG. Periodontal response to early uncovering, autonomous eruption, and orthodontic alignment of palatally impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 ; 131 (4) : 449-55.
178. Xu H, Han X, Wang Y, et al. Effect of buccolingual inclinations of maxillary canines and premolars on perceived smile attractiveness. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015 ; 147 (2) : 182-9.
179. Becker A, Kohavi D, Zilberman Y. Periodontal status following the alignment of palatally impacted canine teeth. *Am J Orthod.* 1983 ; 84 (4) : 332-6.
180. Caprioglio A, Vanni A, Bolamperti L. Long-term periodontal response to orthodontic treatment of palatally impacted maxillary canines. *Eur J Orthod.* 2013 ; 35 (3) : 323-8.

181. Evren AD, Nevzatoglu S, Arun T, Acar A. Periodontal status of ectopic canines after orthodontic treatment. *Angle Orthod.* 2014 ; 84 (1) : 18-23.
182. Hansson C, Rindler A. Periodontal conditions following surgical and orthodontic treatment of palatally impacted maxillary canines--a follow-up study. *Angle Orthod.* 1998 ; 68 (2) : 167-72.
183. Kohavi D, Becker A, Zilberman Y. Surgical exposure, orthodontic movement, and final tooth position as factors in periodontal breakdown of treated palatally impacted canines. *Am J Orthod.* 1984 ; 85 (1) : 72-7.
184. Kohavi D, Zilberman Y, Becker A. Periodontal status following the alignment of buccally ectopic maxillary canine teeth. *Am J Orthod.* 1984 ; 85 (1) : 78-82.
185. Parkin NA, Milner RS, Deery C, et al. Periodontal health of palatally displaced canines treated with open or closed surgical technique : a multicenter, randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013 ; 144 (2) : 176-84.
186. Smailiene D, Kavaliauskiene A, Pacauskiene I, Zasciurinskiene E, Bjerklin K. Palatally impacted maxillary canines : choice of surgical-orthodontic treatment method does not influence post-treatment periodontal status. A controlled prospective study. *Eur J Orthod.* 2013 ; 35 (6) : 803-10.
187. Crescini A, Nieri M, Buti J, et al. Short- and long-term periodontal evaluation of impacted canines treated with a closed surgical-orthodontic approach. *J Clin Periodontol.* 2007 ; 34 (3) : 232-42.
188. Crescini A, Nieri M, Buti J, Baccetti T, Pini Prato GP. Orthodontic and periodontal outcomes of treated impacted maxillary canines. *Angle Orthod.* 2007 ; 77 (4) : 571-7.
189. Boyd RL. Clinical assessment of injuries in orthodontic movement of impacted teeth. II. Surgical recommendations. *Am J Orthod.* 1984 ; 86 (5) : 407-18.
190. Incerti-Parenti S, Checchi V, Ippolito DR, Gracco A, Alessandri-Bonetti G. Periodontal status after surgical-orthodontic treatment of labially impacted canines with

different surgical techniques : A systematic review. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2016 ; 149 (4) : 463-72.

191. Chaushu S, Dykstein N, Ben-Bassat Y, Becker A. Periodontal status of impacted maxillary incisors uncovered by 2 different surgical techniques. J Oral Maxillofac Surg. 2009 ; 67 (1) : 120-4.

192. Correa BD, Vieira Bittencourt MA, Machado AW. Influence of maxillary canine gingival margin asymmetries on the perception of smile esthetics among orthodontists and laypersons. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2014 ; 145 (1) : 55-63.

193. Kokich VG. Orthodontic and nonorthodontic root resorption : their impact on clinical dental practice. J Dent Educ 2008 ; 72 (8) : 895-902.

194. Marques LS, Chaves KC, Rey AC, Pereira LJ, Ruellas AC. Severe root resorption and orthodontic treatment : clinical implications after 25 years of follow-up. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2011 ; 139 (4 Suppl) : S166-9.

195. Milberg DJ. Labially impacted maxillary canines causing severe root resorption of maxillary central incisors. Angle Orthod. 2006 ; 76 (1) : 173-6.

196. Saldarriaga JR, Patino MC. Ectopic eruption and severe root resorption. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2003 ; 123 (3) : 259-65.

197. Savage RR, Kokich VG. Restoration and retention of maxillary anteriors with severe root resorption. J Am Dent Assoc. 2002 ; 133 (1) : 67-71.

198. Shellhart WC, Jasper S, Abrams H, Wilson T. Case report : management of significant incisor root resorption associated with maxillary canine impaction. Angle Orthod. 1998 ; 68 (2) : 187-92.

199. Bjerklin K, Guitirokh CH. Maxillary incisor root resorption induced by ectopic canines. Angle Orthod. 2011 ; 81 (5) : 800-6.

200. Falahat B, Ericson S, Mak D'Amico R, Bjerklin K. Incisor root resorption due to ectopic maxillary canines : a long-term radiographic follow-up. Angle Orthod. 2008 ; 78 (5) : 778-85.

201. Jonsson A, Malmgren O, Levander E. Long-term follow-up of tooth mobility in maxillary incisors with orthodontically induced apical root resorption. *Eur J Orthod.* 2007 ; 29 (5) : 482-7.

RAFFLENBEUL (Frédéric) – Les résorptions radiculaires des dents adjacentes aux canines maxillaires incluses.
(Thèse 3^{ème} cycle Sci. Odontol. : Strasbourg : 2017 ; N°26).
N° 43.22.17.26

Résumé :

Les complications les plus fréquemment associées à l'inclusion des canines maxillaires sont les résorptions radiculaires des dents adjacentes. Le but de ce travail de thèse est de faire l'état des lieux des connaissances sur le diagnostic, la prévalence des résorptions radiculaires, l'attitude thérapeutique ainsi que le devenir au long terme de ces dents. Les dents résorbées étant asymptomatiques et vitales, le diagnostic s'avère être essentiellement radiologique. Du fait des limitations inhérentes de l'imagerie bidimensionnelle, une exploration radiographique tridimensionnelle est aujourd'hui privilégiée en cas de suspicion de résorption radiculaire. Toutefois, la résolution spatiale minimale requise lors de cet examen tridimensionnel est soumise à débat. L'attitude thérapeutique consiste en premier lieu à l'avulsion préventive de la canine temporaire correspondante afin de normaliser le chemin d'éruption de la canine permanente et d'éviter ou de limiter l'évolution des résorptions radiculaires. En cas d'échec de cette mesure, le but est de supprimer le plus rapidement possible la pression mécanique exercée par la canine, interrompant ainsi le processus résorptif. Le pronostic au long terme d'une dent résorbée demeure cependant favorable et la conservation de ces dents doit être privilégiée. L'incidence de ces résorptions radiculaires dans une population d'âge orthodontique avant tout traitement orthodontique reste cependant inconnue et fait l'objet d'une étude clinique dans le cadre d'un mémoire de spécialité en orthopédie dento-faciale.

Rubrique de classement : orthodontie

Mots clés MeSH :

Adolescent (*adolescent*) ; canine / pathologie (*cuspid / pathology*) ; dent incluse / complications (*tooth, impacted / complications*) ; dent incluse / imagerie diagnostique (*tooth, impacted / diagnostic imaging*) ; incisive / pathologie (*incisor / pathology*) ; orthodontie (*orthodontics*) ; résorption radiculaire / imagerie diagnostique (*root resorption / diagnostic imaging*) ; tomographie volumique à faisceau conique (*Cone-Beam Computed Tomography*)

Jury :

Président : Professeur MINOUX Maryline

Assesseeurs : Docteur BAHU-GROSS Sophie
 Docteur BOLENDER Yves
 Docteur GROS Catherine-Isabelle

Coordonnées de l'auteur :

Frédéric RAFFLENBEUL
55, rue du Général Trumelet Faber
57230 BITCHE
frederic.rafflenbeul@gmail.com