

UNIVERSITÉ DE LILLE

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2022

N° : 4589

THESE POUR LE

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 28 novembre 2022

Par Maxime DE CRAEKER

Né le 27 décembre 1994 à Grande-Synthe - France

**TECHNIQUES D'IMAGERIE EN CHIRURGIE DENTAIRE.
APPLICATIONS EN IDENTIFICATION ODONTOLOGIQUE**

JURY

Président : Madame la Professeure Caroline DELFOSSE

Assesseurs : Monsieur le Docteur Philippe ROCHER

Monsieur le Docteur Maxime BEDEZ

Madame le Docteur Anne BÉCART-ROBERT

UNIVERSITÉ DE LILLE

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2022

N° : 4589

THESE POUR LE

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 28 novembre 2022

Par Maxime DE CRAEKER

Né le 27 décembre 1994 à Grande-Synthe - France

**TECHNIQUES D'IMAGERIE EN CHIRURGIE DENTAIRE.
APPLICATIONS EN IDENTIFICATION ODONTOLOGIQUE**

JURY

Président : Madame la Professeure Caroline DELFOSSE

Asseseurs : Monsieur le Docteur Philippe ROCHER

Monsieur le Docteur Maxime BEDEZ

Madame le Docteur Anne BÉCART-ROBERT

Président de l'Université	:	Pr. R. BORDET
Directrice Générale des Services de l'Université	:	M-D. SAVINA
Doyen UFR3S	:	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S	:	G. PIERSON
Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S	:	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services	:	M. DROPSIT
Responsable de la Scolarité	:	G. DUPONT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

K.AGOSSA	Parodontologie
P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE	Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S Odontologie Pédiatrique
E. DEVEAUX	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
A. BLAIZOT	Prévention, Épidémiologie, Économie de la Santé, Odontologie Légale
P. BOITELLE	Responsable du Département de Prothèses
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
E. BOCQUET	Responsable du Département d' Orthopédie Dento-Faciale
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Épidémiologie, Économie de la Santé, Odontologie Légale
X. COUTEL	Biologie Orale
A. De BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice et Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
C. LEFEVRE	Prothèses
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice et Endodontie
T. MARQUILLER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin – CHU de Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice et Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département de Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Responsable du Département d' Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

Remerciements

Aux membres du jury ...

Madame la Professeure Caroline DELFOSSE

Professeure des universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section développement, croissance et prévention

Département Odontologie pédiatrique

Docteur en Chirurgie Dentaire

Doctorat de l'Université de Lille 2 (mention Odontologie)

Habilitation à Diriger des Recherches (Université de Clermont Auvergne)

Diplôme de l'Université « Sédation consciente pour les soins bucco-dentaires »

Diplôme de l'Université « Gestion du stress et de l'anxiété »

Diplôme de l'Université « Compétences cliniques en sédation pour les soins dentaires »

Diplôme Inter Universitaire « Pédagogie en sciences de la santé »

Formation Certifiante en Éducation Thérapeutique du Patient

Doyen de la faculté de chirurgie dentaire de Lille – UFR3S

Professeure Delfosse,

*Je vous suis immensément reconnaissant
d'avoir accepté de présider le jury de cette
thèse, bien que la nature de ce sujet
s'éloigne de votre domaine de prédilection.
Vos qualités de praticienne, de pédagogue
ainsi que vos enseignements m'inspirent
dans l'application de ma pratique actuelle
et future.*

Monsieur le Docteur Philippe ROCHER

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille 2

Maîtrise des Sciences Biologiques

Diplôme d'Études Approfondies de Génie Biologique et Médicale – option

Biomatériaux

Diplôme Universitaire de Génie Biologique et Médicale

Certificat d'Études Supérieures de Biomateriaux

Docteur Rocher,

*Je vous remercie vivement d'avoir accepté
de juger ce travail.*

*Pour vos conseils, votre bienveillance et la
bonne humeur qui vous ont toujours
caractérisé lors de l'enseignement théorique
et l'encadrement clinique, je vous suis
grandement reconnaissant.*

*Voyez en ce travail l'expression de toute ma
sympathie et mon respect à votre égard.*

Monsieur le Docteur Maxime BEDEZ

Maître de Conférence des Universités Associé – Praticien hospitalier des CSERD

Section Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

Département Biologie Orale

Docteur en Chirurgie Dentaire

Master 2 « Biologie Santé » - parcours « immunité, inflammation, infection » –
Université de Lille

Certificat d'Études Supérieures Universitaire en Prothèses Fixées – Université d'Aix-
Marseille

Docteur Bedez,

*Vous avez spontanément accepté de faire
partie de ce jury, pour cela ainsi que pour
votre aide et vos conseils avisés je vous
remercie.*

*Votre dévouement, votre patience, votre
pédagogie et votre rigueur sont des vertus
que j'espère pouvoir appliquer dans ma
pratique future.*

*Travailler à vos côtés au sein du
département de biologie orale est un
véritable plaisir.*

Madame le Docteur Anne BÉCART-ROBERT

Docteur en Chirurgie Dentaire – Praticien Hospitalier du CHU de Lille

Expert judiciaire près de la Cour d'Appel de Douai

Expert agréée par la Cour de Cassation

Co-responsable de la Clinique de Médecine Légale et Médecine en Unité Pénitentiaire, CHU de Lille

Responsable des services dentaires des unités sanitaires en milieu carcéral, CHU de Lille

Responsable de l'Unité Fonctionnelle Chambre Mortuaire, CHU de Lille

Responsable de l'Unité Fonctionnelle Gestion des Décès Massifs, CHU de Lille

Attachée d'enseignement à la faculté de Médecine de Lille

Docteur en Éthique Médicale de l'Université Paris Descartes (V)

Membre de l'AFIO

Enseignant – Chercheur au laboratoire UTML et A-EA7367 de l'Université de Lille

Docteur Bécart,

*Vous m'avez fait l'immense honneur
d'accepter de diriger ce travail, je vous en
suis profondément reconnaissant.*

*Grâce à votre aide et vos enseignements,
j'ai fait la découverte d'une branche
méconnue de notre profession, d'une
discipline à la fois complexe et
passionnante.*

Votre parcours et vos conseils m'inspirent.

*J'espère un jour faire preuve d'autant de
dévouement que vous-même dans mon
activité professionnelle. Je vous remercie de
m'avoir accepté et guidé dans ce
cheminement.*

*Voyez en ce travail le témoignage de toute
ma gratitude et de tout mon respect.*

Je dédie cette thèse,

Table des matières

TABLE DES ABREVIATIONS.....	23
INTRODUCTION.....	25
1 DESCRIPTION DES TECHNIQUES D'IMAGERIE.....	26
1.1 TECHNIQUES BIDIMENSIONNELLES.....	26
1.1.1 Radiographies endo-buccales (2,3).....	26
1.1.1.1 Rétro-alvéolaires.....	26
1.1.1.2 Rétro-coronaires.....	28
1.1.1.3 Mordu Occlusal.....	29
1.1.2 Radiographies exo-buccales (2,3,5).....	29
1.1.2.1 Orthopantomogramme ou panoramique dentaire.....	30
1.1.2.2 Téléradiographie crânio-faciale.....	30
1.2 TECHNIQUES TRIDIMENSIONNELLES.....	31
1.2.1 Scanner ou Computed Tomography (2,7).....	31
1.2.2 Cone Beam (CBCT) (2,5,8).....	32
1.2.3 Imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) (2,7).....	34
1.3 RESUME (TABLEAU 1).....	35
2 UTILISATION EN PRATIQUE CLINIQUE.....	35
2.1 TECHNIQUES DE PREMIERE INTENTION (11).....	35
2.1.1 Radiographies rétro-alvéolaires.....	35
2.1.1.1 Indications et contre-indications.....	35
2.1.1.2 Intérêts.....	36
2.1.1.3 Limites.....	37
2.1.1.4 Résumé (tableau 2).....	37
2.1.2 Panoramique dentaire.....	38
2.1.2.1 Indications et contre-indications (11).....	38
2.1.2.2 Intérêt.....	38
2.1.2.3 Limites.....	38
2.1.2.4 Résumé (Tableau 3).....	39
2.2 TECHNIQUES DE SECONDE INTENTION (11).....	40
2.2.1 Radiographies retro-coronaires.....	40
2.2.1.1 Indications et contre-indications.....	40
2.2.1.2 Intérêt.....	40
2.2.1.3 Limites.....	40
2.2.1.4 Résumé (Tableau 4).....	40
2.2.2 Mordu Occlusal.....	41
2.2.2.1 Indications et contre-indications.....	41
2.2.2.2 Intérêt.....	41
2.2.2.3 Limites.....	41
2.2.2.4 Résumé (Tableau 5).....	41
2.2.3 Téléradiographie.....	42

2.2.3.1	Indications et contre-indications	42
2.2.3.2	Intérêt	42
2.2.3.3	Limites	42
2.2.3.4	Résumé (Tableau 6)	42
2.2.4	<i>Scanner</i>	43
2.2.4.1	Indications et contre-indications	43
2.2.4.2	Intérêt	43
2.2.4.3	Limites	43
2.2.4.4	Résumé (Tableau 7)	44
2.2.5	<i>Cone Beam Computed Tomography (5,8,9,12)</i>	44
2.2.5.1	Indications.....	44
2.2.5.2	Intérêt	45
2.2.5.3	Limites	45
2.2.5.4	Résumé (Tableau 8)	46
2.2.6	<i>Imagerie par résonance magnétique nucléaire</i>	46
2.2.6.1	Indications et contre-indications	46
2.2.6.2	Intérêt	47
2.2.6.3	Limites	47
2.2.6.4	Résumé (Tableau 9)	47
2.3	FORMATIONS	48
2.3.1	<i>Formation initiale (universitaire)</i>	48
2.3.2	<i>Formation continue (spécialisée)</i>	48
2.3.2.1	Formation à la radioprotection des patients	48
2.3.2.2	Formation à la lecture et l'interprétation de CBCT	48
3	RAPPELS ET GENERALITES EN IDENTIFICATION ODONTOLOGIQUE	49
3.1	L'ODONTOLOGIE MEDICO-LEGALE	49
3.2	L'IDENTIFICATION	49
3.3	LES PRINCIPES	49
3.3.1	<i>L'identification comparative (15,16)</i>	49
3.3.2	<i>L'identification estimative ou reconstructrice (15,17)</i>	50
3.4	LES INDICATIONS (14)	50
3.5	LES ETAPES (18)	50
3.6	LES RESULTATS (14,19).....	51
3.7	APPLICATION EN RADIOLOGIE DENTAIRE (20).....	51
3.8	FORMATIONS SPECIALISEES.....	51
3.8.1	<i>Diplôme universitaire d'identification odontologique</i>	52
3.8.2	<i>Diplôme universitaire d'expertise judiciaire</i>	52
3.8.3	<i>Formations en radiologie dentaire et médico-légale</i>	52
4	UTILISATION EN IDENTIFICATION ODONTOLOGIQUE.....	53
4.1	ÉVENEMENTS PRE ET PERI-RADIOGRAPHIQUES.....	53
4.1.1	<i>Autopsie oro-faciale</i>	53
4.1.2	<i>Bilan radiographique</i>	53

4.2	TECHNIQUES COURANTES.....	54
4.2.1	<i>Radiographies rétro-alvéolaires</i>	54
4.2.1.1	Indications (15).....	54
4.2.1.2	Intérêt.....	55
4.2.1.3	Limites.....	59
4.2.1.4	Cas pratique.....	60
4.2.1.5	Récapitulatif (Tableau 10).....	61
4.2.2	<i>Panoramique dentaire</i>	63
4.2.2.1	Indications.....	63
4.2.2.2	Intérêt.....	72
4.2.2.3	Limites.....	72
4.2.2.4	Cas pratique.....	73
4.2.2.5	Récapitulatif (Tableau 11).....	74
4.3	TECHNIQUES OCCASIONNELLES.....	76
4.3.1	<i>Le scanner</i>	76
4.3.1.1	Indications.....	76
4.3.1.2	Intérêts.....	81
4.3.1.3	Limites.....	81
4.3.1.4	Cas Pratique.....	81
4.3.1.5	Récapitulatif (Tableau 13).....	84
4.3.2	<i>Le CBCT</i>	86
4.3.2.1	Indications.....	86
4.3.2.2	Intérêt.....	88
4.3.2.3	Limites.....	90
4.3.2.4	Cas Pratique.....	90
4.3.2.5	Récapitulatif (Tableau 14).....	92
4.4	COMPARAISON DES TECHNIQUES.....	94
4.4.1	<i>Facteurs influents</i>	94
4.4.2	<i>Cas de l'identification odontologique post-mortem avec présomption d'identité</i>	96
4.4.3	<i>Cas de l'identification odontologique post-mortem sans présomption d'identité</i>	98
5	PROPOSITION ET PERSPECTIVES.....	100
5.1	TECHNIQUES RARES ET SPECIFIQUES.....	100
5.1.1	<i>Téléradiographie</i>	100
5.1.2	<i>IRM</i>	101
5.2	PERSPECTIVES.....	103
5.2.1	<i>Informatisation et systématisation</i>	103
5.2.1.1	Systèmes (94,95).....	103
5.2.1.2	<i>Convolutional Neural Network</i> et odontologie médico-légale.....	104
5.2.2	<i>Modélisation tridimensionnelle par autopsie virtuelle</i>	109
	CONCLUSION.....	111
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	113
	TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	121

TABLE DES TABLEAUX	125
ANNEXES.....	126

Table des abréviations

2D	Deux dimensions
3D	Trois dimensions
ABFO	<i>American Board of Forensic Odontology</i>
ADN	Acide désoxyribonucléique
AFIO	Association Française d'Identification Odontologique
AM	<i>Ante-mortem</i>
ANN	<i>Artificial Neural Network</i>
ATM	Articulation Temporo-Mandibulaire
CBCT	<i>Cone Beam Computed Tomography</i>
CCAM	Classification commune des actes médicaux
CDSS	<i>Clinical Decision and Support System</i>
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i>
CT	<i>Computed Tomography</i>
Dicom	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i>
IA	Intelligence Artificielle
IML	Institut de Médecine Légale
INTERPOL	<i>International Criminal Police Organization</i>
IRM	Imagerie par Résonance Magnétique Nucléaire
M3	Troisièmes Molaires
MDVI	<i>Mass Disaster Victims Identification</i>
ODF	Orthopédie dento-faciale
OPG	Orthopantomogramme
ORL	Oto-rhino-laryngologie
PM	<i>Post-mortem</i>
RA	Rétro-alvéolaire
RC	Rétro-coronaire

Introduction

L'identification des personnes décédées est une obligation morale, légale et éthique dans toute société civilisée. Cependant, il est parfois impossible de se reposer sur l'unique appréciation visuelle afin de déterminer formellement l'identité d'un individu décédé. En complément des méthodes d'identification telles que la dactyloscopie ou la génétique, l'odontologie médico-légale se révèle être une aide précieuse. Elle correspond à l'application des connaissances, des pratiques et des techniques de l'art dentaire à la médecine légale. Elle fait l'objet d'une pratique spécialisée, à part entière, au service de l'expertise judiciaire afin d'aider à l'identification des personnes.

Historiquement, l'odontologie légale trouve ses racines en France, son premier traité officiel, « L'art dentaire en médecine légale » du Docteur Oscar Amoëdo, en 1898, apporta les bases d'une discipline dont la pratique était encore méconnue et émergente (1).

Depuis plus d'un siècle, la radiologie s'est imposée dans le domaine de la santé comme un acteur capital du dépistage, du diagnostic et des thérapeutiques. De nos jours, la radiologie a pris une place conséquente dans le paysage de la dentisterie clinique. C'est en suivant ce même paradigme qu'avec le temps, les méthodes d'imagerie sont devenues des outils indispensables en odontologie légale et notamment en identification odontologique.

Ce travail propose de faire un état des lieux des différentes techniques d'imagerie utilisables en identification, en présentant leurs indications, intérêts et limites ainsi que de les comparer et en dégager des enseignements pour l'accompagnement du processus d'identification de l'individu décédé. Ainsi, la première et seconde partie ont pour vocation de dresser un panorama exhaustif des méthodes d'imagerie à la disposition du chirurgien-dentiste. La troisième partie a pour but d'effectuer un rappel sur l'odontologie médico-légale et la méthodologie d'identification des individus décédés. La quatrième partie a pour vocation de présenter les différentes méthodes radiographiques à la disposition de l'odontologiste afin d'assister le processus d'identification. Finalement, la cinquième partie présentera les différentes perspectives dans le domaine de la radiologie dentaire médico-légale.

Il s'agit de répondre à la problématique suivante : « **Quelle(s) technique(s) d'imagerie pour quelle(s) situation(s) en odontologie médico-légale ?** ».

1 Description des techniques d'imagerie

La radiographie se définit comme le reflet photographique d'un objet enregistré sur un cliché radiographique ; obtenu par le parcours de rayons X à travers cet objet et leur récupération par un récepteur. En pratique courante en chirurgie dentaire, l'imagerie est l'un des outils clés d'aide au diagnostic, au pronostic et au traitement des pathologies dentaires. Cet outil de choix vient compléter l'analyse clinique et les tests diagnostiques. C'est aujourd'hui une aide indispensable au clinicien pour un exercice adapté, en accord avec les données acquises de la science.

1.1 Techniques bidimensionnelles

Les techniques dites « bidimensionnelles » sont des méthodes d'imagerie dont l'acquisition est basée sur une transformation d'information 3D en imagerie 2D.

1.1.1 Radiographies endo-buccales (2,3)

Les radiographies endo-buccales ou radiographies intra-orales sont l'ensemble des méthodes d'imagerie de la sphère orale dont l'acquisition se fait par un capteur (numérique ou analogique) placé dans la bouche du patient. Le récepteur des rayonnements est placé dans la cavité buccale.

1.1.1.1 Rétro-alvéolaires

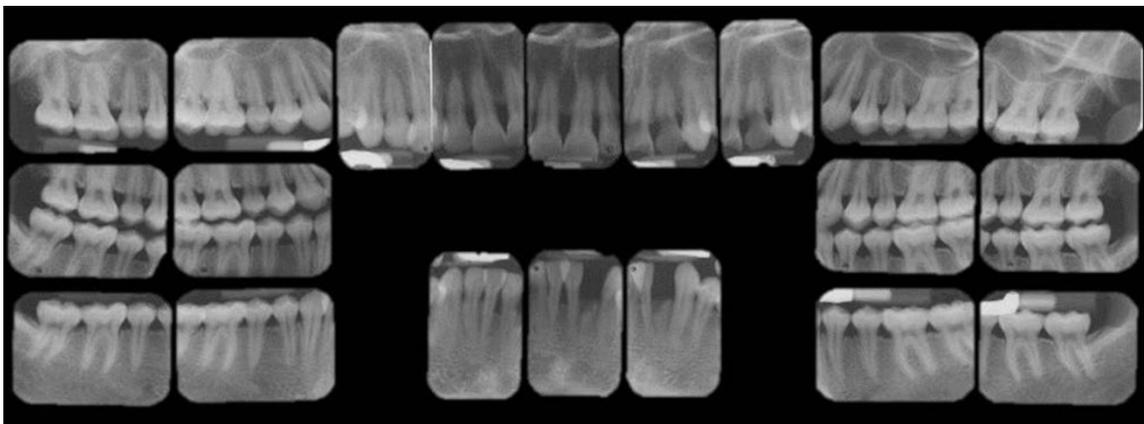


Figure 1 : Bilan radiographique intra-oral rétro-alvéolaire et rétro-coronaire (2).

Les radiographies rétro-alvéolaires (RA) (Figure 1 et 2) sont des radiographies endo-buccales bidimensionnelles d'une dent ou d'un groupe de dents centrées sur un secteur dentaire (antérieur ou postérieur, mandibulaire ou maxillaire) consistant en une projection radiographique en deux dimensions sur un film de petite taille et permettant de visualiser la structure dentaire dans son intégralité (couronne, racine, apex), son environnement parodontal (desmodonte, os alvéolaire) et les structures anatomiques voisines (plancher sinusien, foramen mentonnier, nerf alvéolaire inférieur).

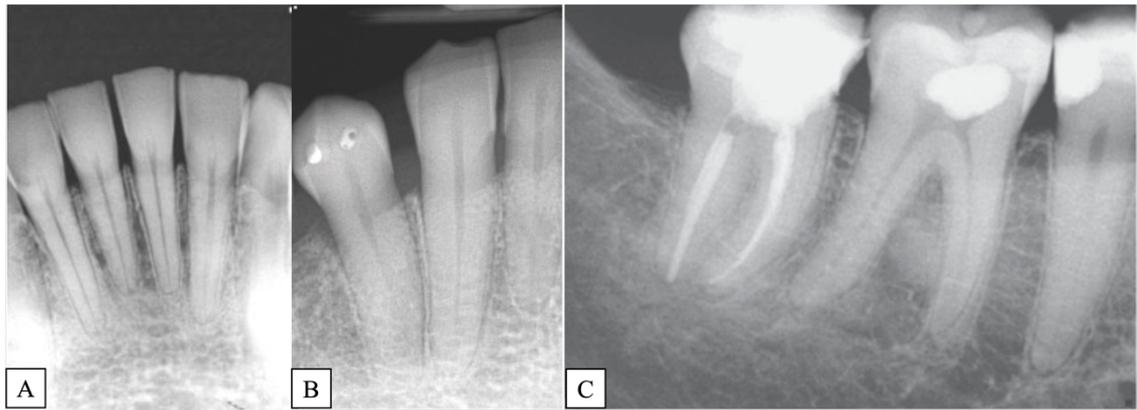


Figure 2 : Radiographies intra-orales rétro-alvéolaires des secteurs incisivo-canin (A), canine et prémolaire (B) et prémolo-molaire (C) (2).

Il existe différentes méthodes de réalisation :

- La technique en parallèle (technique de McCormak et Fitz) : Le radiogramme est orienté parallèle à l'axe longitudinal de la dent. Le faisceau de rayons X est perpendiculaire à l'axe longitudinal de la dent, du groupe de dents et du radiogramme (Figure 3).

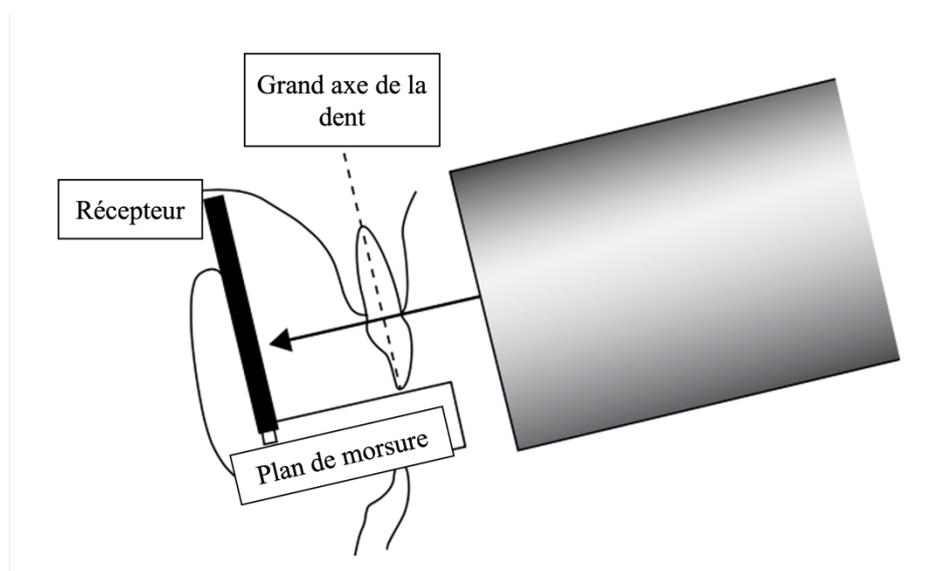


Figure 3 : Principe de la technique en parallèle pour les radiographies intra-orales adaptée de Hubar et al. (4).

- La technique en bissectrice : Le radiogramme est incliné. Le faisceau de rayons X est perpendiculaire à la bissectrice de l'angle formé entre l'axe longitudinal de la dent et l'axe du radiogramme (Figure 4).

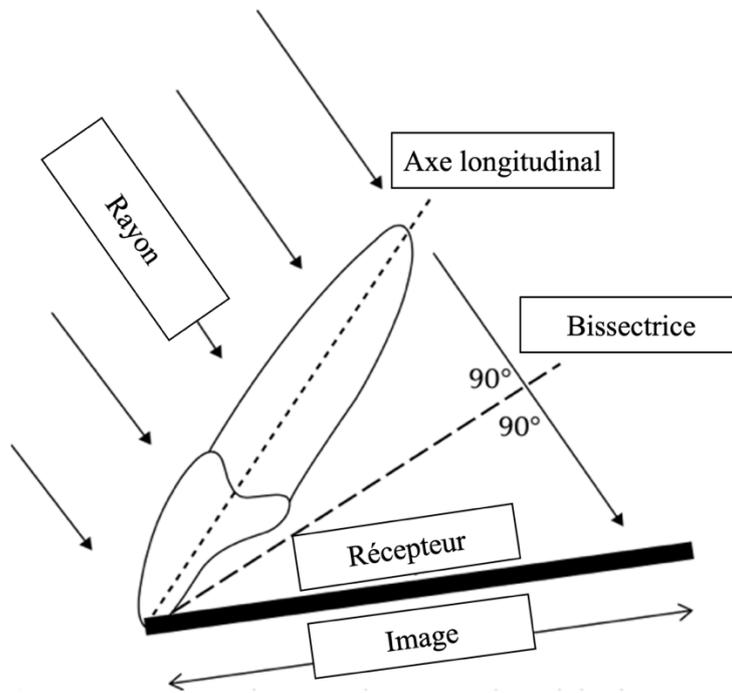


Figure 4 : Principe de la technique en bissectrice pour les radiographies intra-orales, adapté de Hubar et al. (4).

- La technique en incidence décalée ou excentrée : décentrement de la position du tube radiographique. Réalisée surtout pour les clichés endodontiques pour le diagnostic différentiel de résorption interne et externe.

1.1.1.2 Rétro-coronaires

Les radiographies rétro-coronaires (RC) (Figure 5) sont des radiographies endo-buccales bidimensionnelles d'une ou d'un groupe de dents centrées sur un secteur postérieur par un faisceau à trajet coronal ou inter-occlusal (prémolaire ou molaire, maxillaire et mandibulaire) vertical ou horizontal et permettant de visualiser de façon plus précise la structure coronaire de la dent/du groupe de dents et ses antagonistes.

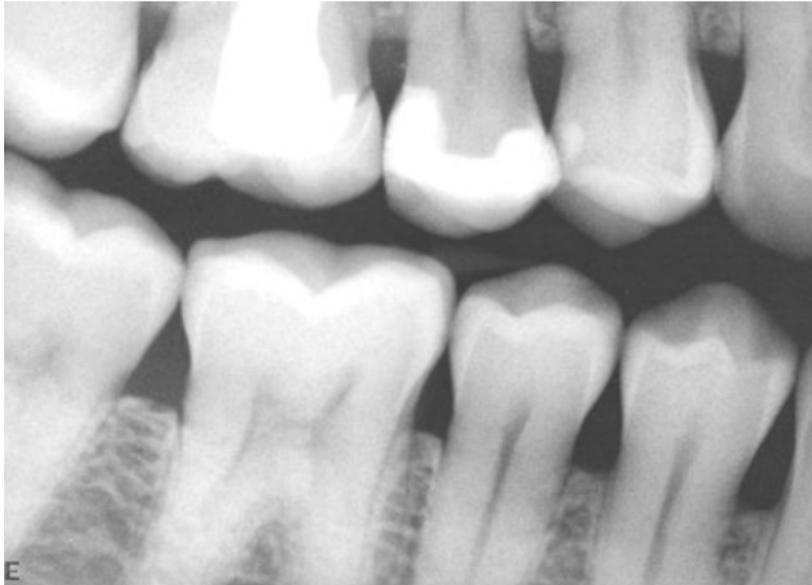


Figure 5 : Radiographie intra-orale rétro-coronaire (2).

1.1.1.3 Mordu Occlusal

Les radiographies de type mordu occlusal (Figure 6) sont des radiographies endo-buccales bidimensionnelles, dans un axe horizontal, d'un groupe de dents et centrées sur les faces occlusales maxillaire ou mandibulaire de celles-ci.



Figure 6 : Radiographie intra-orale en mordu occlusal (3).

1.1 Radiographies exo-buccales (2,3,5)

Les radiographies exo-buccales ou radiographies extra-orales sont l'ensemble des méthodes d'imagerie de la sphère orale dont l'acquisition se fait par un capteur situé en dehors de la cavité buccale.

1.1.1 Orthopantomogramme ou panoramique dentaire

L'orthopantomogramme (OPG) ou panoramique dentaire (Figure 7) est une radiographie exo-buccale bidimensionnelle de la totalité des arcades dentaires, des structures anatomiques osseuses et articulaires voisines (os alvéolaire, os basal, ramus mandibulaire, processus coronoïde, condyle, articulation temporo-mandibulaire, canal mandibulaire du nerf alvéolaire inférieur et foramen mentonnier d'émergence, sinus maxillaires, fosses nasales).



Figure 7 : Panoramique dentaire (2).

Cette technique repose sur deux méthodes :

- La radiographie à fente : la collimation de faisceau de rayon X avec chaque rayon perpendiculaire à la tangente à l'ellipse maxillo-mandibulaire considérée.
- La tomographie courbe (à coupe épaisse) : résultante des mouvements simultanés et homothétiques du film radiographique et de la source de rayon X lors de la rotation.

1.1.1.4 Téléradiographie crânio-faciale

La téléradiographie (Figure 8) est une radiographie exo-buccale bidimensionnelle de la totalité du squelette crânial (squelette céphalique, massif facial, base du crâne et maxillaires) et d'une partie du rachis cervical. C'est une technique céphalométrique.

Elle peut se présenter sous 3 plans de coupes selon les indications :

- La téléradiographie de profil : vue sagittale des structure anatomiques,
- La téléradiographie de face : vue frontale des structures anatomiques,
- La téléradiographie transversale (ou incidence de Bouvet) : vue transversale des structures anatomiques, rayon incident perpendiculaire au plan d'occlusion.



Figure 8 : Téléradiographie de face (A), de profil (B) et axiale en incidence de bouvet (C) profil (6).

1.2 Techniques Tridimensionnelles

Les techniques dites « tridimensionnelles » sont des méthodes d'imagerie basées sur un enregistrement d'informations et leur acquisition en 3 dimensions.

1.2.1 Scanner ou Computed Tomography (2,7)

Le scanner (Figure 9) est une technique d'imagerie tridimensionnelle extra-orale permettant d'obtenir une succession de coupes axiales, puis par informatique, une reconstruction panoramique curviligne c'est-à-dire parallèle à la courbe de l'arcade et coronale oblique c'est à dire perpendiculaire à la courbe de l'arcade.

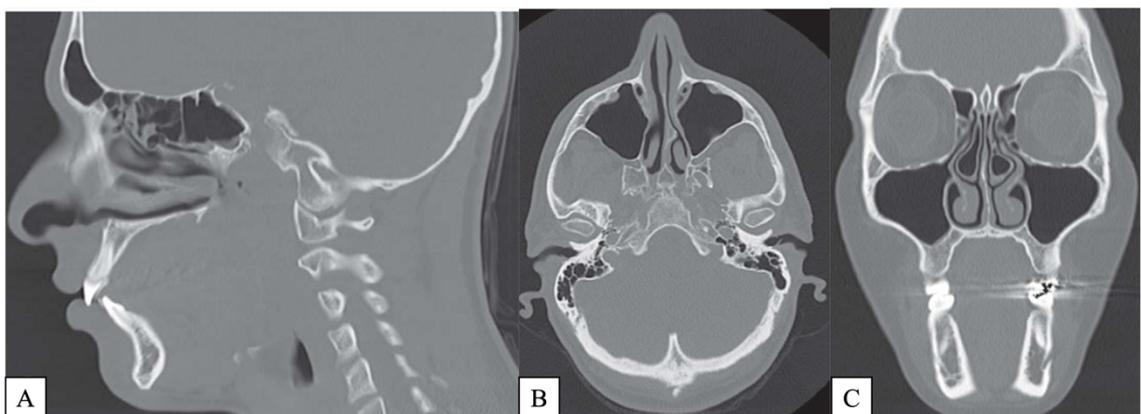


Figure 9 : Scanner en coupe sagittale (A), axiale (B) et frontale (C) (6).

L'acquisition repose sur la collimation d'un faisceau de rayons X pulsé et dirigé sur un récepteur arrondi donnant une succession de coupes jointives ou chevauchées lors de multiples rotations du système (Figure 10).

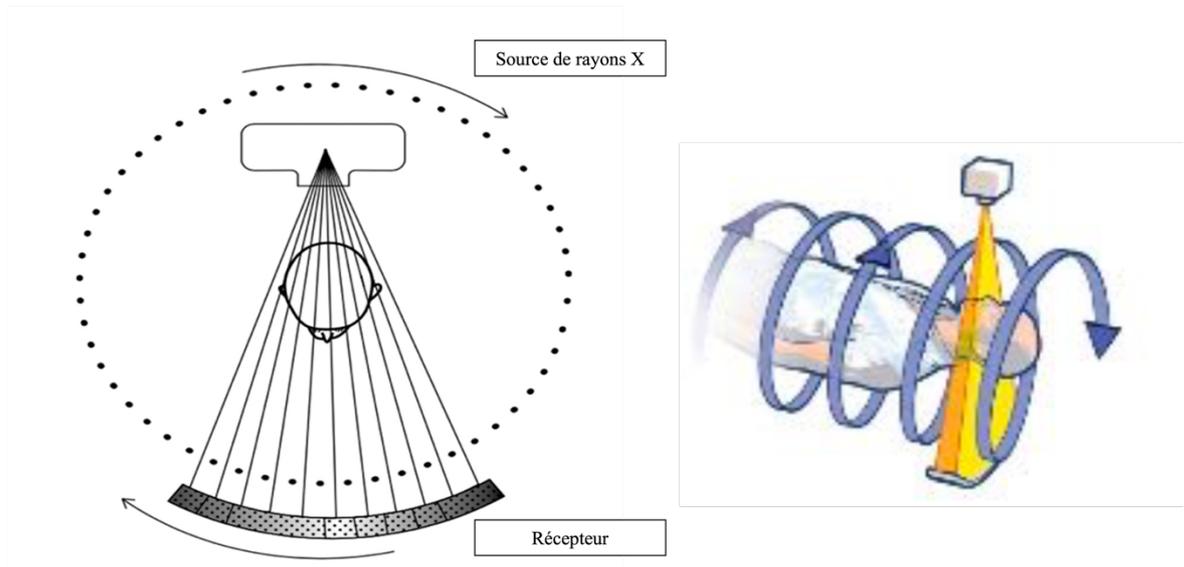


Figure 10 : Principe d'acquisition du scanner (2,5), on remarque la rotation complète source/récepteur et la forme curviligne du récepteur de rayons X.

1.2.2 Cone Beam (CBCT) (2,5,8)

Le *cone beam* ou *Cone Beam Computed Tomography* (CBCT) (Figure 11 et 12) est une technique d'imagerie volumique extra-orale tridimensionnelle, aussi appelée tomodynamétrie, basée sur un faisceau conique permettant l'analyse de coupes horizontales, verticales et sagittales à travers un volume souhaité.

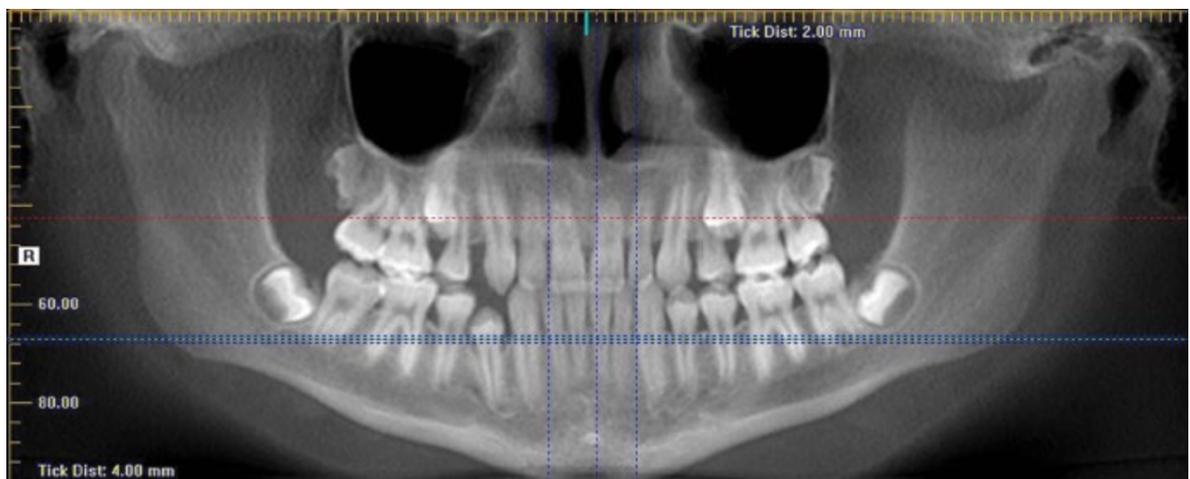


Figure 11 : Reconstruction panoramique d'un CBCT (2).

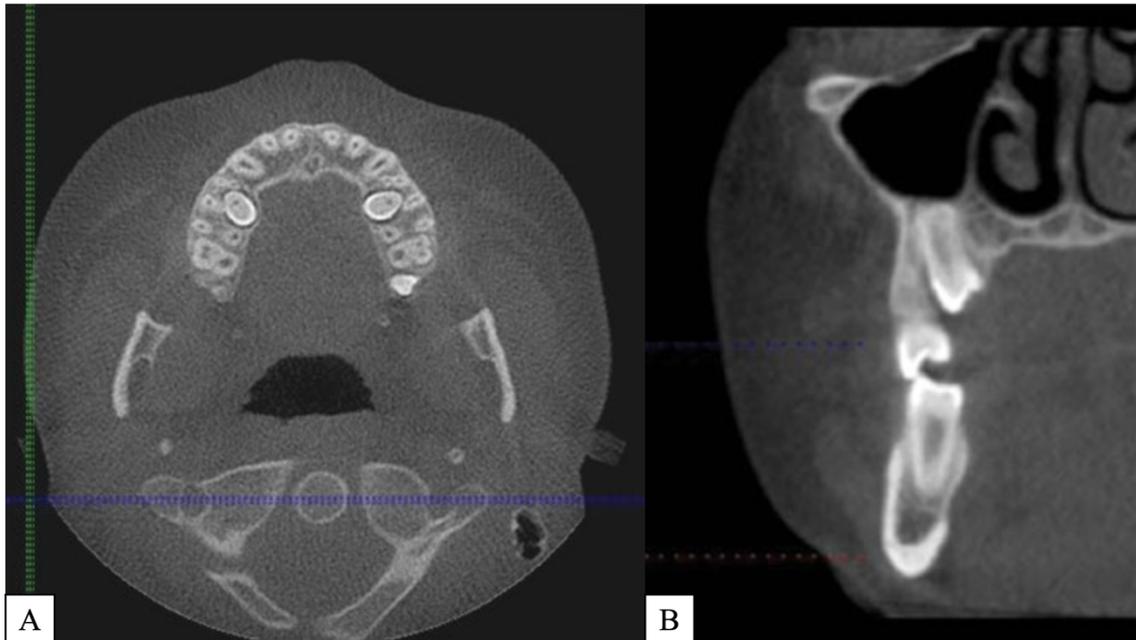


Figure 12 : Vue axiale (A) et vue frontale (B) d'un CBCT (2).

Cette technique repose sur la captation d'un faisceau conique et ouvert de rayon X par une surface de détection ou récepteur plan. La surface et le faisceau réalisent un balayage rotatif d'une seule rotation synchrone de 180° à 360° autour du patient (Figure 13) afin d'obtenir une image volumétrique de l'objet radiographié, c'est-à-dire une reconstruction volumique basée sur plusieurs centaines de clichés dans des plans différents (9).

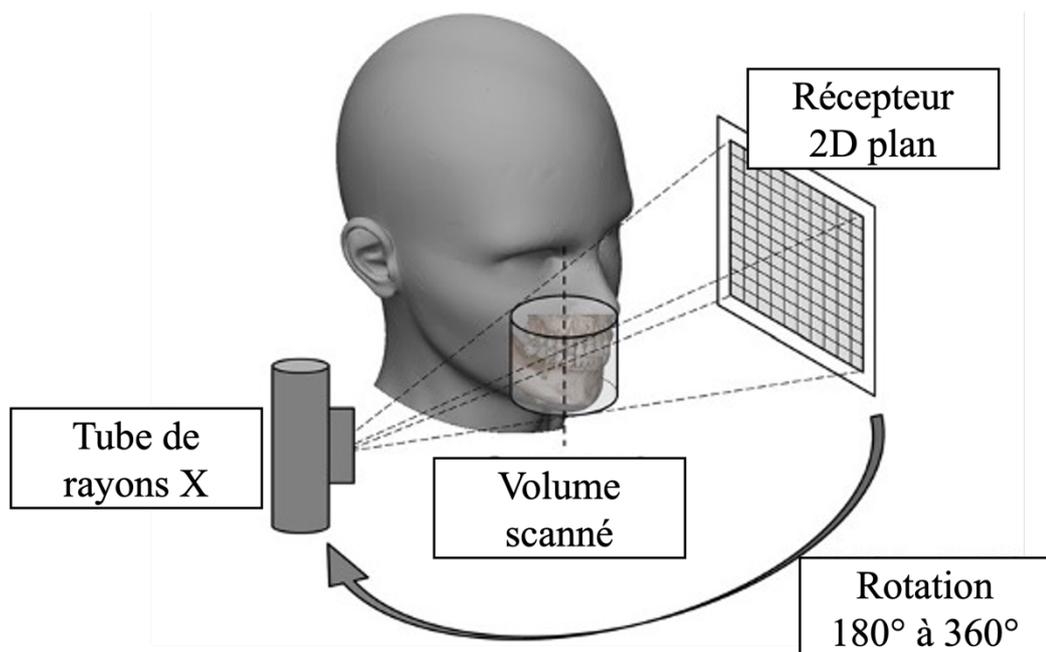


Figure 13 : Principe d'acquisition du CBCT, adapté de Pauwels et al. (8), on remarque la rotation synchrone source/récepteur et la forme plane du récepteur de rayons X.

Le volume acquis est constitué de voxels « isotropes » ou « isométriques », c'est-à-dire des pixels 3D cubiques de résolution spatiale invariante dans les trois dimensions de l'espace (10). Les voxels permettent la reconstruction du volume acquis sur ordinateurs sous la forme de coupes axiales bidimensionnelles. La standardisation des fichiers utilise le format standardisé *Dicom*. L'acquisition par CBCT se fait selon différents champs allant du 4x4 (largeur, profondeur x hauteur) à plus de 20x20 cm.

1.2.3 Imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) (2,7)

L'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) (Figure 14) est une technique d'imagerie permettant d'obtenir des coupes en deux ou trois dimensions en utilisant les principes de la résonance magnétique nucléaire, soit la propriété quantique de spin des atomes, via un champ magnétique.

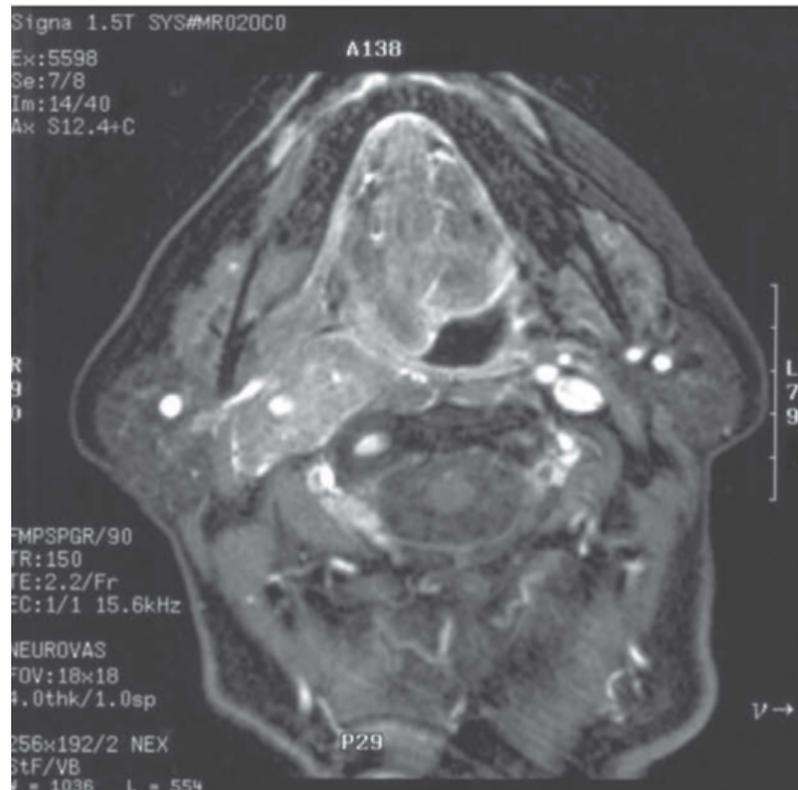


Figure 14 : Coupe axiale d'imagerie par résonance magnétique nucléaire de la région cervico-faciale (6).

Une des applications les plus répandues est le diagnostic des pathologies discales de l'articulation temporo-mandibulaire. Cette technique n'exploite pas les rayonnements ionisants et n'occasionne donc pas d'irradiation. Son champ d'utilisation en chirurgie dentaire est restreint, assez rare et relève plutôt du champ d'intervention des médecins ORL et stomatologues.

1.3 Résumé (Tableau 1)

Tableau 1 : Résumé des techniques d'imagerie en pratique clinique de la chirurgie dentaire [production personnelle].

Techniques d'imagerie intra-orales	Radiographie rétro-alvéolaire
	Radiographie rétro-coronaire
	Mordu occlusal
Techniques d'imagerie extra-orales	Radiographie panoramique dentaire
	Téléradiographie (sagittale, frontale ou axiale)
	Scanner
	CBCT
	IRM

2 Utilisation en pratique clinique

Il convient dans cette partie de dresser un panorama des différentes techniques d'imagerie disponibles. On différencie ainsi les techniques de **première intention** : les radiographies réalisées en premier temps, comme examens dit de « *débroussaillage* » et les techniques de **seconde intention** : les radiographies réalisées en second temps, venant s'ajouter aux informations acquises par des radiographies de première intention. Ces radiographies de seconde intention viennent compléter les lacunes ou limites des radiographies de seconde intention. Avant de s'intéresser à l'aspect *post-mortem* de ces radiographies, Il est nécessaire de comparer ces différentes techniques, leurs avantages, inconvénients, indications et limites dans le cadre de la prise en charge de patients vivants.

2.1 Techniques de première intention (11)

2.1.1 Radiographies rétro-alvéolaires

2.1.1.1 Indications et contre-indications

Les radiographies rétro-alvéolaires sont des techniques de première intention dont les principales indications en pratique clinique sont :

- La prise en charge des nouveaux patients : afin de réaliser des examens et bilan rétro-alvéolaire sur toute dent rendue suspecte lors d'un examen clinique de contrôle ou de bilan global initial.
- La prise en charge des urgences dentaires.
- L'aide au diagnostic, le dépistage des pathologies carieuses pour la confirmation diagnostic, la détermination de l'étendue et la localisation des lésions carieuses.
- L'aide au diagnostic des pathologies endodontiques par exemple l'atteinte pulpaire des lésions carieuses ou des traumatismes, les images de lésions péri-radicales d'origines endodontiques (abcès péri-apicaux, parodontite apicale).
- L'analyse de l'anatomie endodontique afin de planifier et évaluer la difficulté des traitements endodontiques par l'anatomie canalaire, l'anatomie radulaire (courbures), les pulpolithes, les calcifications et les canaux accessoires.
- La prise en charge des pathologies parodontales via le diagnostic initial, la réévaluation et maintenance parodontale.
- La prise en charge des pathologies endo-parodontales combinées et/ou associées.
- Le diagnostic pré-chirurgical des pathologies des maxillaires : le dépistage, la planification chirurgicale, l'évaluation des risques et de la faisabilité.
- Le dépistage des lésions pathologiques osseuses d'origine dentaire. Les traumatismes dentaires, alvéolaires et maxillaires.
- Le diagnostic et la planification pré, per et post-opératoire implantaire.
- Les patients édentés pour permettre le dépistage des séquestres osseux et racines résiduelles.

Les problèmes patients-dépendants comme la faible ouverture buccale (trismus, luxations), l'anatomie palatine spécifique (les palais profonds) ou encore l'inconfort suscité par la technique c'est à dire les réflexes nauséux sont des contre-indications relatives à la radiographie rétro-alvéolaire. La constriction permanente des mâchoires (ankylose de l'ATM) est la seule contre-indication stricte de la technique.

2.1.1.2 Intérêts

L'intérêt des rétro-alvéolaires repose sur la netteté, la précision, le contraste, la possibilité de mesure fidèle à la réalité clinique, l'absence de déformation dès lors que la radiographie est réalisée dans les règles de l'art dentaire et le respect des recommandations officielles relatives à la technique radiographique. C'est à dire l'application des principes clés de la radioprotection : la **justification**, l'**optimisation** et la **limitation** (11). Il y a une possibilité de standardisation de la technique via l'utilisation d'angulateurs permettant des comparaisons de clichés.

2.1.1.3 Limites

Parmi les limites de la technique, on retrouve les problèmes intrinsèques au matériel comme la taille du film qui limite l'observation à un champ d'exploration relativement restreint mais aussi la reproductibilité de la rétro-alvéolaire qui n'est pas assurée sans l'utilisation d'angulateur adaptés au secteur dentaire radiographié.

2.1.1.4 Résumé (tableau 2)

Tableau 2 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites de la radiographie rétro-alvéolaire [production personnelle].

Indications	<ul style="list-style-type: none">• Dépistage• Diagnostic• Urgence et traumatologie dento-alvéolaire• Disciplines cliniques de chirurgie dentaire en omnipratique : odontologie restauratrice, endodontie, chirurgie, prothèse, parodontologie
Contre-indications	<ul style="list-style-type: none">• Stricte : constriction permanente des mâchoires• Relatives : réflexe nauséux, limitation d'ouverture buccale (trismus), coopération
Intérêts	<ul style="list-style-type: none">• Précision• Netteté• Contraste• Morphométrie
Limites	<ul style="list-style-type: none">• Champ limité• Positionnement opérateur-dépendant• Peu reproductible sans angulateur

2.1.2 Panoramique dentaire

2.1.2.1 Indications et contre-indications (11)

Le panoramique dentaire est une technique de première intention dont les principales indications sont :

- La réalisation d'un bilan complet de première consultation pour les nouveaux patients.
- L'analyse des dentures mixtes, la détection et l'interception des anomalies de la formule dentaire (anomalies de nombre), des anomalies positionnelles (ectopie, hétérotopie, transposition) chez les enfants.
- L'analyse de la présence, l'évolution, la position, l'orientation et les rapports des dents de sagesse avec le nerf alvéolaire inférieur et les sinus maxillaires.
- La quantification de la perte osseuse alvéolaire et l'aide au diagnostic des maladies parodontales.
- L'aide au diagnostic des pathologies carieuses et endodontiques, des pathologies osseuses et des lésions articulaires des articulations temporo-mandibulaire.
- La prise en charge des traumatismes maxillo-faciaux.
- Le diagnostic pré-chirurgical et/ou pré-implantaire. L'évaluation du niveau osseux global et la recherche d'éléments résiduels chez les patients édentés.
- L'aide à la prise en charge des patients présentant une limitation d'ouverture buccale importante (trismus).

Il n'existe pas de contre-indication absolue à la réalisation de l'OPG. La coopération du patient enfant, handicapé ou anxieux peut cependant être une contre-indication relative à sa réalisation.

2.1.2.2 Intérêt

L'intérêt du panoramique dentaire repose dans le dépistage, la **vision globale**, la faible irradiation et le remplacement des structures dentaires dans leur environnement anatomique. Elle permet également au patient de bénéficier d'un meilleur confort qu'avec une technique intra-orale.

La position standardisée et reproductible, la dose délivrée faible et l'efficacité dans la rapidité d'exécution de la technique comparée à la réalisation d'une multitude de radiographies intra-orales sont également des avantages que présente le panoramique.

2.1.2.3 Limites

Parmi les limites de la technique, on retrouve les problèmes liés à la qualité de l'image par exemple les déformations et distorsion d'image, la qualité variable et donc les possibilités d'aide au diagnostic précis moindres qu'avec une radiographie intra-orale. Il n'est pas possible de réaliser des mesures précises sur ce type de cliché. Les autres problèmes sont les superpositions coronaires postérieures, le flou pouvant être important dans les secteurs antérieurs incisifs (erreur souvent liée à la position de la tête du patient lors de l'acquisition) et le flou occasionné par les

artéfacts métalliques et cinétiques. L'insuffisance de cet examen le rend dépendant des clichés complémentaires pour des traitements spécifiques (RA, Cone Beam). Cet équipement, coûteux, s'avère aujourd'hui indispensable et de plus en plus répandu dans les cabinets dentaires.

2.1.2.4 Résumé (Tableau 3)

Tableau 3 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites de la radiographie panoramique [production personnelle].

<p style="text-align: center;">Indications</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dépistage • Diagnostic • Urgence et traumatologie dento-alvéolaire et maxillo-mandibulaire • Disciplines cliniques de chirurgie dentaire omnipratique : odontologie restauratrice, endodontie, chirurgie, prothèse, parodontologie etc. • Disciplines cliniques de chirurgie dentaires spécifiques : chirurgie des maxillaires, chirurgie des M3, occlusodontie etc.
<p style="text-align: center;">Contre-indications</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Stricte : aucune • Relative : coopération
<p style="text-align: center;">Intérêts</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vision globale • Confort • Position standardisée
<p style="text-align: center;">Limites</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité d'image : flou antérieur, superpositions • Déformations : morphométrie parfois peu indiquée • Besoin de complémentarité (RA/RC) • Coût de l'appareil

2.2 Techniques de seconde intention (11)

2.2.1 Radiographies retro-coronaires

2.2.1.1 Indications et contre-indications

Les radiographies rétro-coronaires sont des techniques de seconde intention dont les principales indications en pratique clinique sont l'aide au diagnostic des lésions carieuses débutantes et interproximales ainsi que le dépistage et l'évaluation des pertes osseuses horizontales légères, l'atteinte des septum inter-proximaux et l'élargissement desmodontal dans les maladies parodontales.

2.2.1.2 Intérêt

Les intérêts des radiographies rétro-coronaires sont la visualisation simultanée, sur un secteur, en un cliché, des dents des deux arcades, une gêne ressentie par le patient qui est diminuée et donc une plus grande facilité de réalisation chez les patients présentant des réflexes nauséux ainsi que le dépistage et l'interception précoce des lésions carieuses proximales débutantes grâce à l'absence de superposition des zones inter-proximales.

2.2.1.3 Limites

La principale limite est la difficulté d'apprécier la région péri-apicale des dents du secteur analysé, liée à la taille du film, son positionnement et la visualisation des deux arcades dentaires. Les indications et intérêt de cette technique excluent les pathologies des racines et du péri-apex.

2.2.1.4 Résumé (Tableau 4)

Tableau 4 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites de la radiographie rétro-coronaire [production personnelle].

Indications	<ul style="list-style-type: none">• Diagnostic des lésions carieuses inter-proximales débutantes• Dépistage des pertes osseuses légères des septums inter-proximaux et furcations radiculaires
Contre-indications	<ul style="list-style-type: none">• Stricte : aucune• Relative : coopération
Intérêts	<ul style="list-style-type: none">• Absence de superpositions• Dépistage précoce des caries interproximales• Confort
Limites	<ul style="list-style-type: none">• Pas de visualisation du péri-apex• Applications limitées

2.2.2 Mordu Occlusal

2.2.2.1 Indications et contre-indications

Le mordu occlusal est une technique radiographique de seconde intention dont les principales indications en pratique clinique sont la visualisation des malpositions dentaires, l'appréciation de la dimension, de l'étendue et de la position de dents incluses et lésions osseuses (tumeurs, kystes) ainsi que le dépistage des fractures radiculaires du secteur incisivo-canin.

2.2.2.2 Intérêt

Le mordu occlusal est la seule radiographie bidimensionnelle intra-orale permettant la visualisation des arcades dentaires dans le plan horizontal.

2.2.2.3 Limites

Du fait de sa spécificité, l'utilisation de cette technique en pratique clinique courante se fait de plus en plus rare car il existe des techniques plus rapides, plus simples et/ou plus précises.

2.2.2.4 Résumé (Tableau 5)

Tableau 5 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites du mordu occlusal [production personnelle].

Indications	<ul style="list-style-type: none">• Fractures dentaires (traumatologie)• Lésions osseuses et dents incluses (chirurgie)• Occlusodontie
Contre-indications	<ul style="list-style-type: none">• Stricte : aucune• Relative : réflexe nauséux
Intérêts	<ul style="list-style-type: none">• Visualisation des arcades dentaires dans le plan horizontal sans acquisition extra-orale
Limites	<ul style="list-style-type: none">• Applications limitées• Existence de meilleures alternatives (CBCT)

2.2.3 Téléradiographie

2.2.3.1 Indications et contre-indications

- La téléradiographie de la face permet l'analyse frontale des dysmorphoses cranio-faciales pour l'évaluation céphalométrique pré, per et post-interventionnelle en orthodontie et chirurgie orthognatique. Également de visualiser des corrections dento-faciales de fin de traitements.
- La téléradiographie de profil permet l'analyse sagittale des dysmorphoses cranio-faciales pour l'évaluation céphalométrique pré/per/post-interventionnelle et les corrections en orthodontie et chirurgie orthognatique.
- La téléradiographie axiale permet l'analyse horizontale d'asymétries d'origine basale.

2.2.3.2 Intérêt

Cette technique permet la visualisation nette et frontale, sagittale ou axiale de l'ensemble des structures céphaliques et des points anatomiques nécessaires aux analyses céphalométriques. L'exploitation de données et mesures pour une analyse céphalométrique est ici standardisée et reproductible.

2.2.3.3 Limites

C'est une analyse bidimensionnelle c'est-à-dire limitée à la 2D et donc sur un seul plan. C'est une technique plutôt réservée à la pratique spécialisée de l'orthopédie dento-faciale et dont les applications en pratique clinique de la chirurgie dentaire sont rares.

2.2.3.4 Résumé (Tableau 6)

Tableau 6 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites de la téléradiographie [production personnelle].

Indications	<ul style="list-style-type: none">• ODF• Chirurgie orthognatique
Contre-indications	<ul style="list-style-type: none">• Stricte : aucune• Relative : coopération
Intérêts	<ul style="list-style-type: none">• Céphalométrie : mesures cranio-faciales précises• Position standardisée
Limites	<ul style="list-style-type: none">• Applications limitées• Technique bidimensionnelle

2.2.4 Scanner

2.2.4.1 Indications et contre-indications

Le scanner est une technique d'imagerie extra-orale de seconde intention dont les principales indications en pratique clinique sont :

- L'appréciation des lésions osseuses et kystiques.
- L'évaluation de la position et des rapports anatomiques des dents de sagesse.
- L'évaluation des lésions endodontiques comme les lésions péri-apicales, les résorptions osseuses externe et/ou interne.
- Le réparation des fractures dentaires, des fractures alvéolaires, des fractures des maxillaires ou des traumatismes faciaux en traumatologie.
- L'évaluation des sinus de la face (sinus maxillaires, nasaux et frontaux) et plus précisément le dépistage des sinusites d'origine dentaire ou non dentaire.
- Le dépistage des pathologies tumorales.
- L'évaluation des structures osseuses des articulations temporo-mandibulaires.

2.2.4.2 Intérêt

Cette technique contribue à permettre une évaluation anatomique discriminante morphologique, topographique, mensuratrice et fonctionnelle. Elle apporte également une bonne résolution de contraste permettant de facilement discriminer les différences de densité osseuse au sein des maxillaires et du massif facial.

2.2.4.3 Limites

Les artefacts métalliques et cinétiques occasionnent un phénomène de durcissement de rayons. De plus, le scanner n'est pas une technique de choix pour l'évaluation des tissus mous. Le coût important de ce genre d'appareil restreint généralement son utilisation à des structures hospitalières.

2.2.4.4 Résumé (Tableau 7)

Tableau 7 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites du scanner [production personnelle].

Indications	<ul style="list-style-type: none">• Chirurgie maxillo-faciale : lésions, tumeurs etc.• Traumatologie maxillo-faciale : fractures de Lefort• ORL : Sinus para-nasaux• Implantologie
Contre-indications	<ul style="list-style-type: none">• Stricte : aucune• Relative : coopération
Intérêts	<ul style="list-style-type: none">• Haute résolution• Discrimination aisée des structures osseuses• Globalité : totalité du massif facial et du squelette céphalique
Limites	<ul style="list-style-type: none">• Artéfacts métalliques• Tissus mous• Dose d'irradiation importante• Coût• Secteur hospitalier

2.2.5 Cone Beam Computed Tomography (5,8,9,12)

2.2.5.1 Indications

Le *cone beam* est une technique d'imagerie extra-orale de seconde intention dont les principales indications en pratique clinique sont :

- L'évaluation de la position et des rapports anatomiques des dents de sagesse.
- Le repérage des pathologies endodontiques (lésions d'origine endodontique) et de l'anatomie endodontique (les systèmes canaux, les canaux accessoires).
- Les traumatismes maxillo-faciaux type fractures alvéolo-dentaires et maxillaires (hors traumatismes maxillo-faciaux de grande étendue par la taille du champ).
- L'implantologie.

Mais aussi la visualisation :

- Des pathologies sinusiennes (sinusite d'origine dentaire ou non dentaire).
- Des pathologies tumorales et kystiques intra-osseuses.
- Des pathologies articulaires des articulations temporo-mandibulaires.
- Des pathologies orthodontiques (dysmorphies et anomalies des bases osseuses).
- Des pathologies congénitales malformatives comme les fentes labio-alvéolo-palatines.

2.2.5.2 Intérêt

Le *cone beam* possède une bonne résolution spatiale, de qualité supérieure à de nombreuses autres techniques grâce à la reconstruction volumiques de voxels isotropes. En plus de cette résolution spatiale, on retrouve de nombreuses autres qualités comme la rapidité d'exécution, la reproductibilité, l'accessibilité, le caractère compact de l'appareillage (possibilité d'installation dans les cabinets dentaire au même titre que la radiographie panoramique) mais aussi un faible taux d'exposition à des radiations ionisantes (par rapport au scanner par exemple, 25 à 1025 μSv).

2.2.5.3 Limites

Cette technique présente cependant des limites comme un coût important ou la nécessité de formation complémentaire afin d'être apte à l'interprétation de ce type de clichés.

On remarque aussi la présence d'artefacts radiographiques (métalliques ou non) : il y a un phénomène de durcissement de rayon (Figure 15) au niveau des structures métalliques (« *beam hardening* » ou « *cupping* ») et des pâtes d'obturation endodontique, aujourd'hui compensé par différents systèmes de limitation comme les algorithmes M.A.R (*Metal Artefact Reduction*). De plus, le contraste des tissus mous est de faible qualité par rapport à d'autres techniques.

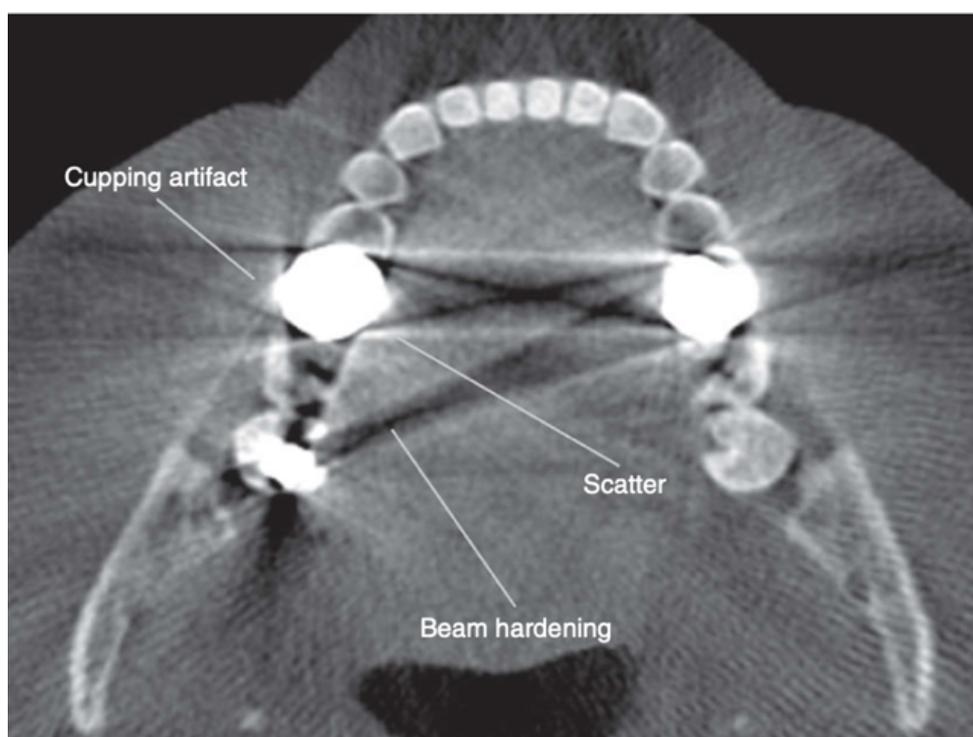


Figure 15 : Artefacts radiologiques de CBCT(6), la visibilité des secteurs concernés est compromise par un flou occasionné par le durcissement de rayons au niveau de structures métalliques radio-opaques intra-buccales.

2.2.5.4 Résumé (Tableau 8)

Tableau 8 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites du cone beam (CBCT) [production personnelle].

Indications	<ul style="list-style-type: none">• Endodontie• Chirurgie des M3• Chirurgie alvéolo-dentaire et maxillo-faciale• Implantologie• Traumatologie• ORL• ODF
Contre-indications	<ul style="list-style-type: none">• Stricte : aucune• Relative : coopération
Intérêts	<ul style="list-style-type: none">• Haute résolution spatiale• Rapidité• Accessibilité• Reproductibilité• Appareillage compact• Dose d'irradiation faible
Limites	<ul style="list-style-type: none">• Artéfacts métalliques• Tissus mous• Coût• Formation complémentaire

2.2.6 Imagerie par résonance magnétique nucléaire

2.2.6.1 Indications et contre-indications

Les principales indications de réalisation d'une imagerie par résonance magnétique nucléaire sont l'analyse des tissus mous, le diagnostic de pathologie spécifique des articulations temporo-mandibulaires (pathologies discales comme les agénésies du disque articulaire), le dépistage et le diagnostic des lésions tumorales infiltrant les tissus mous. Les contre-indications absolues à l'usage de l'IRM sont la présence de corps étrangers métalliques oculaires et cardiaques/vasculaires (pacemaker, valve métallique, clips vasculaires cérébraux).

L'allergie au Gadolinium, qui est l'agent de contraste couramment injecté pour une IRM, est une contre-indication relative qui nécessitera de s'abstenir de l'injection.

2.2.6.2 Intérêt

L'IRM apporte une précision pour le diagnostic des pathologies des tissus mous (contraste important comparé au scanner), des pathologies des articulations temporo-mandibulaires et des lésions tumorales infiltrantes. De plus, cette technique est non irradiante.

2.2.6.3 Limites

Les limites de cette technique sont liées au fait que l'appareillage est couteux, volumineux, souvent situé en secteur hospitalier ou clinique privée, pour des indications rares en pratique dentaire à l'exception de pathologies spécifiques.

2.2.6.4 Résumé (Tableau 9)

Tableau 9 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites de l'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) [production personnelle].

Indications	<ul style="list-style-type: none">• Occlusodontie : pathologies méniscales des ATM• Oncologie : lésions tumorales infiltrantes des tissus mous
Contre-indications	<ul style="list-style-type: none">• Stricte : corps étranger métallique cardiaque (<i>pacemaker</i>, clips vasculaires, valves métalliques), corps étrangers métalliques oculaires• Relative : allergie au produit de contraste (Gadolinium), coopération
Intérêts	<ul style="list-style-type: none">• Tissus mous• Pas d'irradiation
Limites	<ul style="list-style-type: none">• Coût• Volume de l'appareillage• Secteur hospitalier

2.3 Formations

2.3.1 Formation initiale (universitaire)

La formation initiale en méthodes d'imagerie en chirurgie dentaire est université-dépendante mais réside principalement dans l'enseignement d'aptitudes, de capacités de lecture, d'analyse, d'interprétation et de construction d'un raisonnement clinique avec des clichés radiographiques comme outils d'aide au diagnostic, pronostic, traitement et au suivi.

La formation repose aussi sur l'enseignement de la radioprotection et de ses 3 grands principes (13) :

- La justification : tout acte d'imagerie se doit d'être indiqué, justifié, en accord avec les données acquises de la science et les informations relatives à la situation clinique du patient : elle repose donc sur l'indication et le choix de la technique adaptée.
- L'optimisation : obtenir le plus d'informations possibles à la dose d'exposition la plus faible possible.
- La limitation des doses délivrées pour le respect d'un rapport bénéfice/risque.

2.3.2 Formation continue (spécialisée)

2.3.2.1 Formation à la radioprotection des patients

Elle va de pair avec la formation initiale, il s'agit là pour le chirurgien-dentiste d'incarner la personne compétente en radioprotection au sein du cabinet dentaire. Cette formation est à renouveler tous les 10 ans.

2.3.2.2 Formation à la lecture et l'interprétation de CBCT

Il existe diverses formations, souvent sous la forme de webinaire, afin de se former à la justification, la lecture, l'interprétation, le diagnostic et la thérapeutique en CBCT. Le praticien chargé de l'interprétation de ce cliché sera alors capable de rédiger un compte-rendu, qui constitue une preuve médico-légale indispensable.

Le but est de compléter la formation initiale afin d'être apte à diagnostiquer toute pathologie dans le champ d'exposition du CBCT. Cette formation est indispensable pour justifier et utiliser le CBCT.

Le développement de compétences dans ce domaine semble indispensable en pratique clinique, le nombre de cabinets étant équipés d'un appareillage CBCT étant en constante augmentation ces dernières années. Cette augmentation est accompagnée de l'existence d'un code dans la classification commune des actes médicaux (CCAM), « LAQK027 : Radiographie volumique par faisceau conique/CBCT du maxillaire, de la mandibule et/ou d'arcade dentaire » (version 70.10 de la CCAM) et est prise en charge sur des indications bien définies.

3 Rappels et généralités en identification odontologique

3.1 L'odontologie médico-légale

L'**odontologie médico-légale** est une discipline qui s'inscrit dans la pratique de l'odontostomatologie. Elle possède comme principaux objectifs : l'identification des personnes (vivantes ou décédées), la détermination de l'âge (du vivant ou du décédé) et l'analyse des traces de morsures.

3.2 L'identification

L'identification correspond à l'ensemble des moyens disponibles pour rendre son identité à un individu, vivant ou décédé. Il existe deux types de méthodes en identification médico-légale : les techniques de **présomption** et les techniques de **certitude**.

Les techniques de présomption permettent d'aboutir à une identification dite « probable ». On distingue des techniques de **reconnaissance visuelle** (par la famille et les proches), par les effets personnels (vêtements, bijoux, piercing et documents administratifs comme des papiers d'identité) ou par les caractéristiques physiques.

Les techniques de certitude permettent d'aboutir à une identification dite « formelle ». On distingue la **dactyloscopie** (empreintes digitales), la **génétique** (ADN) et l'**identification odontologique** (14).

L'identification odontologique doit son intérêt à la **résistance de l'organe dentaire** contre les agressions externes des agents physiques, chimiques et thermiques, la résistance à la putréfaction, la **persistance de l'organe dentaire** dans les maxillaires après le décès et une grande **diversité anatomique** et thérapeutique inter-individuelle.

L'identification odontologique *ante-mortem* est utilisée pour établir un diagnostic d'identité d'un individu ou une estimation de son âge.

L'identification odontologique *post-mortem* est utilisée lorsqu'un défunt est méconnaissable au point qu'une identification visuelle classique par la famille et les proches n'est pas possible.

3.3 Les principes

L'identification odontologique *post-mortem* repose sur l'application de méthodes d'identification comparatives et/ou estimatives.

3.3.1 L'identification comparative (15,16)

L'**identification comparative** (ou **indicielle analogique**) est la confrontation de données dentaires *post-mortem* relevées lors d'une autopsie oro-faciale et les données dentaires *ante-mortem* recueillies dans le dossier dentaire de l'individu à identifier.

On recherche des similitudes entre les renseignements et différents indices odontostomatologiques relevés et consignés d'une part dans les documents *post-mortem* : l'autopsie de la cavité buccale et les radiographies ; et d'autre part dans les documents *ante-mortem* : les photographies, le dossier dentaire, les radiographies et les empreintes. Cette méthode est motivée par l'existence d'une présomption d'identité de l'individu décédé permettant la collecte des données *ante-mortem* auprès par exemple du chirurgien-dentiste traitant du présumé défunt.

3.3.2 L'identification estimative ou reconstructrice (15,17)

L'**identification reconstructrice (indicielle évaluative)** *post-mortem* est une estimation du profil biologique d'un individu, c'est-à-dire l'estimation de son âge dentaire et/ou osseux au moment du décès, de son sexe et parfois de sa stature, son origine ethnique et ses habitudes de vie.

Elle est appliquée lorsqu'il n'y pas de données *ante-mortem* à la disposition de l'odontologiste ou lorsqu'il n'y a pas de suspicion de concordance avec une personne disparue.

3.4 Les indications (14)

Une identification odontologique *post-mortem* est requise selon différentes indications comme :

- La découverte d'un individu décédé, inconnu, sans indice d'identité et ayant subi parfois diverses altérations (traumatisme, carbonisation, décomposition etc...),
- La découverte d'individu décédé dont l'identification ne peut pas être validée par la reconnaissance visuelle, les empreintes digitales ou l'ADN,
- La découverte d'un individu décédé, à l'état de squelette,
- Les catastrophes de masse,

3.5 Les étapes (18)

Le processus d'identification odontologique médico-légal peut être divisé en 3 étapes :

- La **collecte des données *post-mortem*** : photographies, radiographies pré/per/post-autopsiques, la réalisation d'odontogramme (Annexes 1,2 et 3),
- La **collecte des données *ante-mortem*** : photographies, radiographies, moulages et empreintes,
- La **réconciliation** des données de l'investigation : le « *matching* » des données *ante* et *post-mortem* et la prise de décision de l'autorité en charge de l'identification pour statuer sur un niveau d'identification établi selon des standards bien définis.

3.6 Les résultats (14,19)

La détermination dentaire de l'identité d'un individu fait l'objet d'une terminologie sur plusieurs niveaux, selon les échelles de l'AFBO (*American Board of Forensic Odontology*) et Interpol (*Organisation Internationale de Police Criminelle*) :

- **L'identification positive** : les indices relevés sont suffisants pour déterminer une identification positive du défunt. Les données *ante-mortem* et *post-mortem* sont soit complètes soit incomplètes mais suffisamment riches pour établir une concordance parfaite avec la victime. Cette concordance doit être établie par un minimum de 12 points.
- **L'identification possible** : les indices relevés présentent des similitudes mais la qualité des informations *ante/post-mortem* ne permettent pas d'identifier l'individu avec certitude, on parle ici de concordance partielle. L'identification positive de la victime se fera sous réserve de la présence d'éléments non odontologiques déterminants.
- **L'insuffisance de preuves** : les indices relevés sont en quantité et/ou qualité insuffisante pour établir une possibilité ou certitude d'indentification. La concordance reste possible mais l'insuffisance de données *ante-mortem* et/ou *post-mortem* n'autorise pas l'identification de certitude de la victime.
- **L'exclusion par les preuves** : les indices relevés sont de façon avérée différents des informations *ante-mortem*.

3.7 Application en radiologie dentaire (20)

Dans le cadre d'une identification odontologique, l'une des principales préoccupations de l'odontologiste médico-légal est la restitution rapide des corps et restes humains auprès des familles du défunt. Il est donc primordial de privilégier des techniques accessibles, simples et rapides d'utilisation. L'odontologiste médico-légal, en plus de l'examen clinique encadré par l'autopsie oro-faciale, dispose d'un ensemble de techniques radiographiques similaires à celles utilisées en pratique clinique.

3.8 Formations spécialisées

L'expert en odontologie médico-légale peut-être un chirurgien-dentiste, un stomatologue ou un orthopédiste dento-facial de formation, en fonction de son domaine d'expertise et selon l'indication et les besoins liés à l'identification. Il existe une obligation de formation initiale, via des diplômes universitaires, sur les aspects théoriques juridiques et scientifiques de l'expertise mais aussi une nécessité de formation pratique au sein d'une équipe de médecine légale. De plus, l'expert, à l'instar d'un professionnel de santé, a une obligation de formation continue. Il est en effet primordial que celui-ci se tienne au fait des « données acquises de la science » dans son domaine d'expertise (21).

3.8.1 Diplôme universitaire d'identification odontologique

Il existe un diplôme universitaire d'identification en odontologie médico-légale à l'université de Nancy ou encore de pratique expertale en odontologie médico-légale à Nantes. Ces formations sont ouvertes aux docteurs en médecine, en chirurgie dentaire, aux internes en médecine et aux internes en odontologie et sont d'une durée de 2 ans. L'objectif de cette formation est de détailler l'intégration et la place de l'odontologiste médico-légal dans l'équipe pluridisciplinaire chargée de l'identification des personnes. Elle a également pour but de transmettre les bases méthodologiques dans l'identification en odontologie médico-légales à travers des enseignements théoriques et pratiques.

3.8.2 Diplôme universitaire d'expertise judiciaire

Il existe des diplômes universitaires d'expertise judiciaire à l'universitaire de Bordeaux, l'UFR de droit, d'administration économique et sociale et d'administration publique à Caen ou encore à la faculté de droit et de sciences économiques de Limoges. Ces formations sont ouvertes à toutes professions souhaitant apporter leurs compétences techniques au service de la justice, en réalisant une expertise sur un sujet donné entrant dans le champ de leur activité et domaines de connaissances. L'objectif de cette formation est d'acquérir des bases fondamentales en droit, en organisation du système juridique ainsi qu'à transmettre la méthodologie de réalisation d'une expertise : le statut de l'expert, la rédaction de rapport d'expertise, les protocoles, les outils, les principes éthiques et déontologiques.

3.8.3 Formations en radiologie dentaire et médico-légale

La formation aux techniques de radiographies d'odontologie médico-légale se fait dans le cadre des enseignements dispensés par les diplômes universitaires d'identification odontologique. Il est possible de compléter ces enseignements par des formations en radiologie dentaire vue précédemment comme la formation à l'utilisation, la lecture et l'interprétation du CBCT.

4 Utilisation en identification odontologique

Les techniques d'imagerie sont des outils de choix en identification odontologique *post-mortem* afin de compléter l'observation, l'analyse et le diagnostic clinique.

Les progrès techniques dans le domaine de l'imagerie s'intègrent dans le champ d'activité de l'odontologie médico-légale et dans la tâche d'identification de l'individu décédé. Cependant, le déroulement et les protocoles de réalisation ne sont pas les mêmes. De même que les principes de la radioprotection des patients qui sont en médico-légal de « faux » principes. C'est-à-dire que la principale préoccupation de radioprotection médico-légale est la protection individuelle de l'opérateur. Il est donc possible d'effectuer le nombre de clichés souhaités, aux doses idéales, en prenant toutefois en compte le caractère « urgent » de certaines situations, comme dans le cas des catastrophes de masse où l'attente des familles, des proches et du public est une pression véritable qui motive l'efficacité et la rapidité. La force des radiographies dans l'identification odontologique est leur **objectivité**. Elles ne sont pas sujettes à quelconque biais ou subjectivité opérateur-dépendant comme pourrait l'être un dossier écrit. Cependant, un biais d'interprétation est toujours possible. Pour cela, les odontologistes travaillent en binôme afin de valider mutuellement leurs observations et interprétations.

4.1 Évènements pré et péri-radiographiques

4.1.1 Autopsie oro-faciale

L'autopsie oro-faciale est pratiquée dans le cadre de l'expertise d'identification odontologique. Au niveau de la sphère oro-faciale, elle a pour indication le recueil de l'ensemble des informations anatomiques pouvant aider le processus d'identification odontologique, l'évaluation de blessures de la sphère oro-faciale ou encore l'identification de corps étrangers. Les clichés radiographiques *post-mortem*, comme les photographies, sont réalisés avant et après l'autopsie oro-faciale afin d'éviter toute perte d'information (22) (23).

Si les restes humains à dispositions sont fragmentés, endommagés ou décomposés, il est préférable d'effectuer une résection méticuleuse du maxillaire et de la mandibule pour faciliter le processus d'identification, en prenant en compte la fragilité des restes et leur manipulation. L'arcade maxillaire et l'arcade mandibulaire ainsi séparées du reste du corps pourront alors faire l'objet de nettoyages, de photographies et de radiographies *post-mortem*. Le prélèvement des maxillaires n'est pratiqué que si le sujet n'est pas présentable aux proches. Dans le cas contraire, si celui-ci est présentable, un relevé des maxillaires en place sera réalisé.

4.1.2 Bilan radiographique

En France, l'examen radiographique est réalisé après l'examen clinique pour préciser celui-ci ou obtenir un élément de preuve non contestable.

4.2 Techniques courantes

4.2.1 Radiographies rétro-alvéolaires

4.2.1.1 Indications (15)

On cherche à évaluer et comparer divers indices odonto-stomatologiques à ceux initialement décrits lors de l'analyse clinique et de la constitution de l'odontogramme (Figure 16) :

- La topographie de l'odonte : c'est-à-dire l'identification de la dent (numérotation pour établir la formule dentaire de l'individu, selon la nomenclature de la Fédération Dentaire Internationale). La confirmation de la présence ou absence d'une dent (raison pathologique ou agénésique), la détermination de l'état de la denture : déciduales, mixte ou permanente.
- La morphologie de l'odonte : pour évaluer l'anatomie coronaire et radiculaire, on relève toutes les particularités anatomiques susceptibles d'être pertinentes pour la comparaison. Par exemple la longueur, la largeur des racines, le volume de la chambre pulpaire, le stade d'évolution de la dent (pédodontie), les fractures et traumatismes dentaires.
- L'endodonte : l'anatomie pulpaire canalaire physiologique et/ou pathologique (canaux latéraux, accessoires, les divisions apicales, les taurodontismes, les rétractions pulpaire, les résorption internes).
- Le parodonte : l'ensemble des caractéristiques anatomiques physiologiques et pathologiques des tissus de soutien de la dent. Par exemple l'évaluation du desmodonte, de l'os alvéolaire (sa densité, sa hauteur), les septums inter-dentaire et inter-radiculaires et les éléments pathologiques comme la présence de tartre, l'élargissement desmodontal, l'ankylose, les rhizalyses, les images radiographiques de lésions du périapex, l'alvéolyse, les résorptions externes, les lésions endo-parodontales.

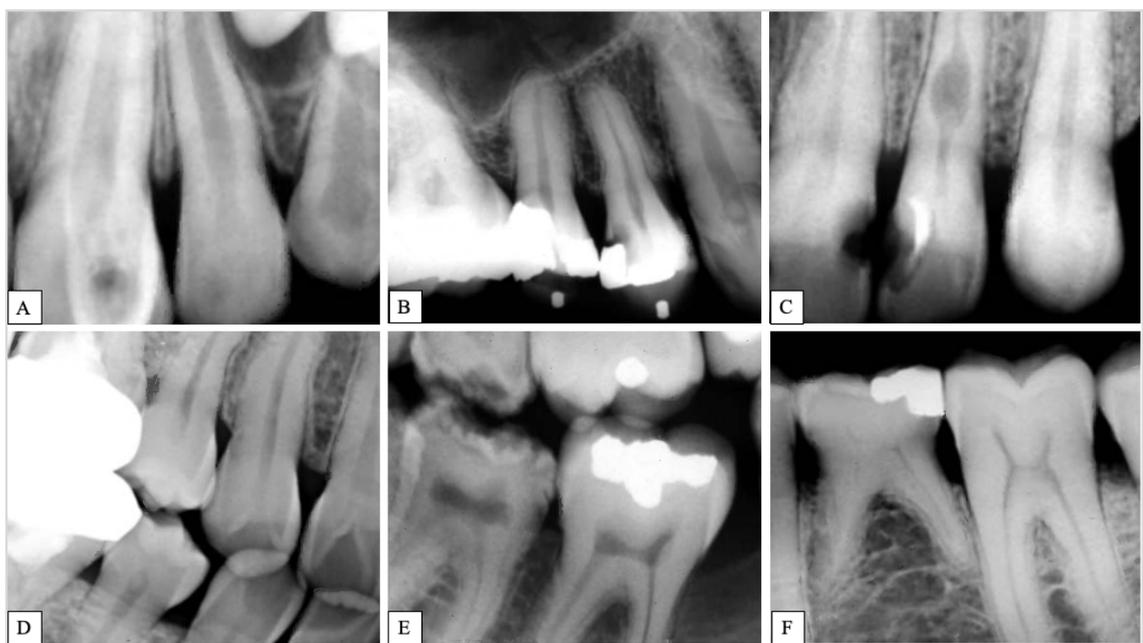


Figure 16 : Exemples d'indices odonto-stomatologiques anatomiques et pathologiques d'identification comparative relevables sur RA avec A : un dens in dente ; B : un pulpolithe intra-canalair ; C : une résorption interne ; D : des incisives en forme de « pelle » ; E : hypoplasie partielle de l'émail ; F : persistance de molaire lactéale et agénésie du germe sous-jacent (24).

On recherche aussi à visualiser les thérapeutiques :

- o Les restaurations coronaires de dentisterie restauratrice conservatrice (amalgame, résines composites) et leur localisation topographique sur la dent suivant les classifications actuelles topographiques (Black et/ou Si/Sta) et leurs qualité (limites).
- o Les restaurations coronaires de dentisterie prothétique conjointe, partielles (onlay, inlay et overlay composite ou céramique) ou totale (les couronnes métalliques, céramiques type CC, CCM ou CCC, les bridges).
- o Les restaurations corono-radiculaires comme les inlay-core ou les restaurations corono-radiculaires par matériaux insérés en phase plastique.
- o Les traitements endodontiques, en évaluant la qualité des obturations par leurs homogénéité, densité et ajustage (sous/sur-obturation).
- o Les implants dentaires : position, ajustage, ostéo-intégration, pathologie (péri-implantite), modèles. L'identification du modèle de l'implant, grâce à la traçabilité de celui-ci pourra être facteur d'identification positive.
- o Les thérapeutiques chirurgicales : avulsions, chirurgie du périapex etc.

4.2.1.2 Intérêt

En identification comparative

Les radiographies intra-orales rétro-alvéolaires sont comparées à des radiographies de même type et idéalement de même angulation, qualité et contraste afin de recueillir les indices dentaires susceptibles de nous orienter sur l'identification positive du défunt.

En identification estimative

a) Détermination de l'âge

En identification estimative, l'âge est habituellement déterminé odontologiquement par les techniques histologiques comme la technique de Gustafson et la technique de Lamendin (25). Cependant, il n'est pas possible de transposer la méthode de Gustafson sur des radiographies étant donné qu'elle est une méthode histologique   caractère destructif car elle nécessite la découpe de la dent. Il n'est pas non plus possible d'évaluer avec précision les 2 critères de la méthode de Lamendin, soit la hauteur de la parodontose et la transparence radiculaire mesurée à partir de l'apex, sans avoir recours à l'avulsion de la dent d'intérêt (26) . En revanche, sur des clichés rétro-

alvéolaires, il est possible de déterminer l'âge selon une méthode développée par **Kvaal et Solheim** (27) : chez l'individu adulte, c'est une évaluation de l'apposition de dentine secondaire et du volume pulpaire qui sont directement en corrélation avec l'âge de l'individu. A l'inverse des techniques invasives d'estimation de l'âge, cette technique non destructrice s'effectue avec un bilan radiographique intra-oral complet afin d'évaluer des dents mono-radiculées, sans pathologie ou reconstitution, qui ont été établies comme les plus corrélées avec l'âge (Figure 17) :

- Les incisives latérales, canines et premières prémolaires mandibulaires
- Les incisives centrales, latérales et secondes prémolaires maxillaires

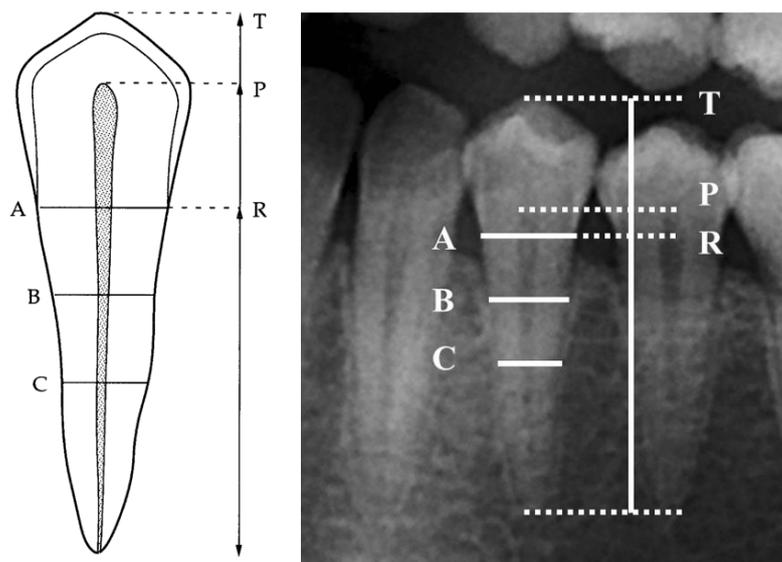


Figure 17 : Mesures radiographiques réalisées par Kvaal et Solheim avec A : la largeur radiculaire et pulpaire à la jonction émail-cément ; B : la largeur radiculaire et pulpaire à équidistance des mesures A et C ; C : la largeur radiculaire et pulpaire à équidistance entre la jonction émail-cément et l'apex ; T : la longueur maximale de la dent complète ; P : la longueur maximale de la pulpe ; R : la longueur radiculaire (27).

b) Détermination du sexe

L'utilisation de la radiographie rétro-alvéolaire pour la détermination du sexe de l'individu est complexe. Il existe un dimorphisme sexuel dans l'anatomie dentaire, plus explicite lors d'une autopsie buccale que sur des radiographies. Il est possible d'évaluer ce dimorphisme radiographiquement, bien que cette évaluation soit de plus grande qualité sur le scanner et le CBCT car elle correspond à l'évaluation du volume dentaire total et du volume pulpaire. Le caractère bidimensionnel des radiographies rétro-alvéolaires ne permet que des analyses de dimension et non de volume. Cependant, il a été rapporté dans la littérature que les dents présentant le plus grand dimorphisme sexuel sont les canines, principalement mandibulaires. Les mesures les plus représentatives du dimorphisme des canines sont anatomiquement le diamètre mésio-distal et la longueur de la dent. En ce qui concerne la radiologie, la longueur

radiographique totale de la dent, mesurée du point radiographique le plus occlusal jusqu'à l'apex radiographique, ainsi que la longueur radiculaire radiographique allant de la jonction émail-cément mésiale à l'apex radiographique sont les deux mesures de longueurs les plus discriminatives entre les deux sexes. Dans la littérature, ces mesures ont été initialement réalisées sur des radiographies panoramiques mais sont extrapolables à des radiographies rétro-alvéolaires du fait du caractère bidimensionnel des deux techniques. Cependant, l'estimation du sexe de l'individu ne devrait pas reposer sur cette seule technique étant donné que les mesures présentent un faible taux de capacité discriminatives. Il convient, sur le plan de la radiographie dentaire et lorsque c'est possible, de plutôt se reposer sur le scanner ou le CBCT (28,29).

c) Système NOMAD™

Il existe comme autre intérêt des RA, leur utilisation lors des identifications en situation de décès massif (**MDVI** ou *Mass Disaster Victim Identification*). En effet, lors des catastrophes de masse, il est courant de recourir à la radiographie rétro-alvéolaire via des systèmes dit « nomades », portatifs, qui permettent de faciliter les considérations logistiques du processus. Dans ce genre d'évènement, il s'avère nécessaire, lorsque c'est possible de réaliser un bilan radiographique intra-oral bouche complète (14 RA complétées par 2 à 4 RC). Dans l'éventualité où les restes humains sont incomplets ou fragmentés, les radiographies rétro-alvéolaires peuvent être réalisées sur les fragments résiduels des maxillaires (30). La facilité d'utilisation, le caractère universel de la méthode, et la possibilité d'appareillage nomade pour les catastrophes de masse ou les radiographies de terrain rendent ce type de radiographie incontournable pour toute identification médico-légale.

L'appareillage **NOMAD™** (Figure 18) est un système d'imagerie portable. Il a pour vocation de faciliter les investigations de terrain et le recueil de données dentaires *post-mortem* dans le contexte d'une catastrophe de masse. La **maniabilité**, le fonctionnement sur **batterie** et le poids relativement léger de l'appareil sont des avantages clés lors de MDVI (31). Il est à ce jour un outil indispensable de la pratique médico-légale de terrain.



Figure 18 : Appareillage Nomad Dental™ de marque Arribex® pour la prise de radiographie rétro-alvéolaire et son boîtier d'acquisition et de visualisation Xpod (A) et sa mallette de transport pour les investigations de terrain (B) [photographie personnelle avec l'accord de l'Institut de médecine légale de Lille et de Mme le docteur Anne Bécart].

En outre, il a été prouvé que ces appareils portatifs sont pertinents sur le plan de la radioprotection des manipulateurs. Dans un contexte de travail avec de multiples experts, dans une morgue temporaire, il peut être difficile de procéder à des mesures de radioprotections équivalentes à celles appliquées dans le secteur hospitalier ou les cabinets dentaires. Il est parfois nécessaire de réaliser des clichés avec du personnel à proximité étroite, par exemple lors du maintien du film radiographique ou de l'ouverture buccale par un assistant ou un odontologiste binôme. Il convient cependant d'avoir recours à l'application de l'ensemble des mesures de radioprotection habituellement appliquées par les opérateurs. En France, la dose équivalente limite, c'est-à-dire la dose absorbée corrigée par des facteurs de pondération des rayonnements ionisants, pour une exposition corps entier d'un travailleur adulte est de 50 mSv (millisieverts) sur une période de 12 mois consécutifs tandis que la dose efficace limite, c'est-à-dire la dose équivalente corrigée par des facteurs de pondérations tissulaires, pour une exposition corps entier d'un travailleur adulte est de 20 mSv sur une période de 12 mois consécutifs (32,33). Dans le cas d'un appareil NOMAD™, la dose efficace reçue extrapolée sur une même période a été déterminé en moyenne à moins de 0,50 mSv. Bien qu'il existe des phénomènes de fuites et de dispersion des rayonnements ionisants, il a été démontré que l'expositions des opérateurs et assistants à ces phénomènes est négligeable (34,35). L'appareil possède de multiples dispositifs de limitation des fuites, de la dispersion ou de la rétrodiffusion des rayonnements ionisants (Figure 19) (36).

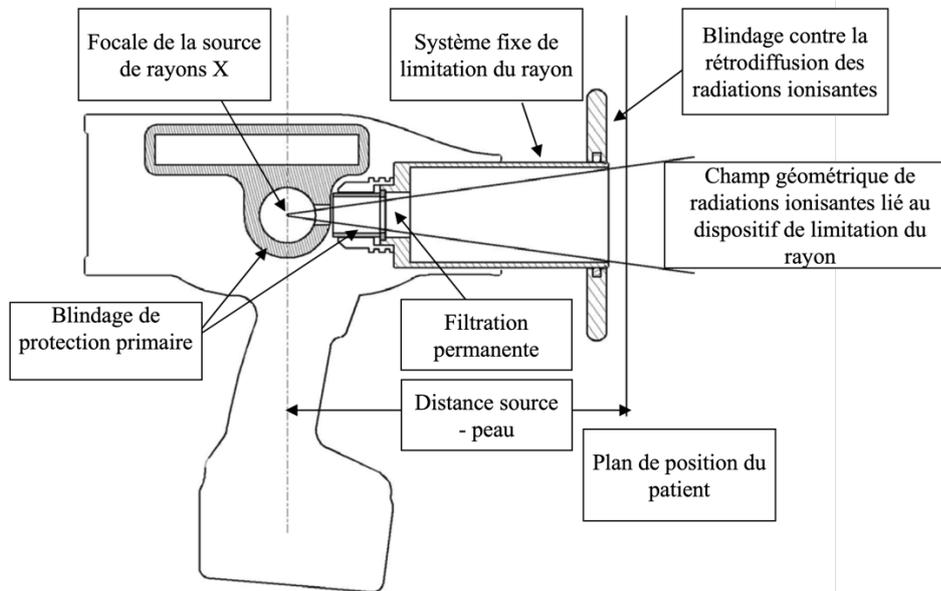


Figure 19 : Coupe sagittale de l'appareil NOMAD™ mettant en avant les différents dispositifs prévus pour la radioprotection des opérateurs, adapté de Turner et al. (36).

4.2.1.3 Limites

La réalisation de radiographies intra-orales et plus particulièrement de radiographies rétro-alvéolaires chez le sujet décédé est sujette à des limitations pratique de réalisation.

En effet, une limitation d'ouverture buccale peut persister et s'installer après le décès, liée à la **rigidité cadavérique** ou *rigor mortis*, dont le temps d'installation et la durée sont variables et influencés par le milieu de conservation du corps. On considère que cette raideur musculaire s'installe dès 3h après le décès au niveau de l'articulation temporo-mandibulaire et la nuque et progresse sur les membres jusqu'à une phase de rigidité maximale 6 à 12 heures après le décès. Cette rigidité va se lever progressivement dans les 36 à 48 heures après le décès (14).

Lorsque l'identification dentaire *post-mortem* est réalisée dans cette fenêtre de rigidité cadavérique ou lorsque les conditions de conservation ou le milieu ont favorisé une prolongation de cette période (température forte), il s'avère nécessaire d'utiliser un ouvre bouche ou alors de procéder à l'ablation des tissus mous et éventuellement d'effectuer la résection complète de la mandibule et du maxillaire lors de l'autopsie oro-faciale afin de faciliter la réalisation des clichés. La cavité orale est également sujette à de possibles rétentions de fluides biologiques (sang, salive, eau) ou fuites de ces fluides associées à la **putréfaction** cadavérique. La visibilité peut donc être difficile pour les radiographies intra-orales. Il convient alors d'avoir recours à des aides visuelles : miroir dentaire avec lumière intégrée, lampe frontale et loupes (18).

Il existe des altérations dentaires liées au milieu de conservation du corps ou aux circonstances de décès qui peuvent compliquer la réalisation de clichés intra-oraux (15) :

- A l'air, la putréfaction cadavérique ne concerne pas les dents. Cependant, la putréfaction des tissus mous compliquera la réalisation des clichés pré-autopsiques.
- Dans les sols, il n'y a en général pas ou peu de modifications de l'organe dentaire hormis les environnements acides (comme les marécages) qui occasionnent des déminéralisations sévères de l'émail.
- Dans l'eau, en circonstance de noyade : les tissus mous sont les plus atteints mais l'organe dentaire résiste.
- En cas de carbonisation, il y aura des cicatrices rétractiles au niveau des orifices et donc de la sphère oro-faciale compliquant la réalisation des clichés intra-oraux à cause de la difficulté à maintenir une ouverture buccale.

Une autre limite est l'impossibilité de visualiser des structures maxillaires péri-dentaire avec précision comme les articulations temporo-mandibulaires ou les sinus. Le recours à des techniques extra-orales s'avèrera alors nécessaire.

4.2.1.4 Cas pratique

Cette étude de cas rapporte une série de clichés radiographiques péri-apicaux *post-mortem* et *ante-mortem* centrés sur différentes zones d'intérêts (Figure 20) (37).



Figure 20 : Comparaison des radiographies péri-apicales *ante-mortem* (A, 2001, B et C 2004) et *post-mortem* (D, 2006) centrées sur l'arcade maxillaire secteur 1, groupe prémolo-molaire (37).

On remarque sur ces premiers clichés radiographiques les similitudes des images *ante-mortem* et *post-mortem* du traitement endodontique et l'anatomie canalaire de la 2^e prémolaire maxillaire droite, l'anatomie du récessus sinusien maxillaire droit dans la région molaire et l'absence radiographique de la première molaire maxillaire droite. L'investigation se poursuit avec d'autres clichés péri-apicaux (Figure 21).



Figure 21 : Comparaison des radiographies péri-apicales *ante-mortem* (A, 2001 et B, 2004) et *post-mortem* (C, 2006) centrées sur l'arcade maxillaire secteur 2, groupe incisivo-canin (37).

On remarque sur cette seconde série de clichés radiographiques les similitudes *ante-mortem* et *post-mortem* du traitement endodontique de l'incisive latérale maxillaire gauche mais également l'anatomie sinusienne maxillaire gauche et les radio-clartés de l'incisive centrale gauche et de la canine maxillaire gauche. Bien que la radiographie *post-mortem* rapporte d'autres éléments comme le traitement endodontique de la première prémolaire maxillaire gauche ou la présence d'un ancrage corono-radiculaire sur l'incisive latérale maxillaire gauche, la correspondance entre ces éléments et les radiographies précédentes a permis d'affirmer une identification positive. Il s'agit là d'un cas « simple » d'identification odontologique radiographique comparative où le recueil de données *ante-mortem*, *post-mortem* et leur réconciliation se sont fait sans contraintes majeures.

4.2.1.5 Récapitulatif (Tableau 10)

La rétro-alvéolaire est la technique radiographique dentaire médico-légale la plus ancestrale, la plus simple et la plus documentée. L'existence d'autres techniques n'a pas nécessairement pour vocation de la remplacer mais plutôt de combler ses lacunes. Sa pratique étant encore aujourd'hui majoritaire en radiologie dentaire du vivant, elle restera pour longtemps une méthode à part entière des dossiers dentaires *ante-mortem*.

Tableau 10 : Tableau récapitulatif des méthodes, indications, avantages, inconvénients et limites de la radiographie rétro-alvéolaire en identification odontologique [production personnelle].

<p>Méthodes comparatives</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formule dentaire radiographique • Anatomie et topographie dentaire et parodontale • Pathologies dento-alvéolaires • Thérapeutiques de dentisterie restauratrices et endodontiques • Thérapeutiques prothétiques, implantaire et chirurgicales
<p>Méthodes estimatives de l'âge</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Technique de Kvaal et Solheim
<p>Méthodes estimatives du sexe</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Morphométrie des canines mandibulaires : diamètre mésio-distal et longueur totale
<p>Indications</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identification odontologique de corps isolés • Identification odontologique des victimes de catastrophes de masses • Corps frais, non décomposé • Squelettisation
<p>Avantages</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicité d'utilisation • Transport facile et appareillage nomade • Accessibilité • Élément constitutif le plus récurrent des dossiers <i>ante-mortem</i>
<p>Inconvénients et limites</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Angulation AM/PM peu reproductible • Modifications physiologiques <i>post-mortem</i> : <i>rigor mortis</i> • Altérations : carbonisation, fragmentations, traumatismes et fractures • Petit champ, petite zone d'intérêt • Chronophage en bouche complète (multiples clichés) • Limitations intrinsèques de la 2D

4.2.2 Panoramique dentaire

L'orthopantomogramme étant un examen radiologique devenu indispensable en pratique clinique de la chirurgie dentaire, il n'est pas rare d'obtenir des panoramiques dentaires dans les documents *ante-mortem* car de plus en plus de cabinet dentaire s'équipent de cet appareillage.

On recherche ici les mêmes indices odonto-stomatologiques décrit pour les techniques intra-orales rétro-alvéolaires mais sur un champ plus large permettant la visualisation de structures anatomiques concomitantes aux structures dentaires : les articulations temporo-mandibulaires et les éléments anatomiques nobles comme le nerf alvéolaire inférieur et sinus maxillaires.

4.2.2.1 Indications

Identification comparative :

En identification comparative, le grand champ de la radiographie panoramique permet d'évaluer la formule dentaire de l'individu c'est-à-dire les dents présentes et absentes, le type de denture (déciduale, mixte ou permanente), afin de confirmer les données cliniques relevées et consignées sur l'odontogramme *post-mortem* lors de l'autopsie buccale.

Il est également possible de relever plus facilement que sur des clichés localisés, les nombreuses possibilités d'anomalies dentaires comme (38) :

- Les anomalies de nombre par excès, c'est-à-dire l'hyperodontie : dents surnuméraires touchant souvent les dents en fin de séries (M3, incisive latérale, prémolaires),
- Les anomalies de nombre par défaut, c'est-à-dire les agénésies simples ou multiples voir l'anodontie ou les fusions,
- Les anomalies de position, c'est-à-dire les positions ectopiques et hétérotopiques, les transpositions, l'anastrophe,
- Les anomalies de forme, c'est-à-dire les macrodonties et microdonties, le taurodontisme, la gémation, le *dens in dente* ou la concrescence,
- Les anomalies des tissus constitutionnels de la dent : les dysplasies dentinaires comme la dentinogénèse imparfaite ou les hypoplasies comme l'amélogénèse imparfaite.

Mais aussi les thérapeutiques dentaires et chirurgicales : fils d'or, plaque d'ostéosynthèse, restaurations prothétiques de grande étendues, implants dentaires ou encore implants maxillo-faciaux et les pathologies : accidents, traumatismes, plombs de chasse ou envahissement tumoraux.

Identification estimative de l'âge :

L'estimation odontologique de l'âge de l'individu est habituellement estimée à l'aide de tables de références en fonction de la tranche d'âge supposée de l'individu (fœtus, nouveau-né, enfant, adolescent, jeune adulte ou adulte) et le processus étudié : la calcification dentaire ou l'éruption dentaire.

On retrouve ainsi différentes tables comme :

- La table de Fortier (39): pour l'éruption dentaire chez l'enfant, l'adolescent et le jeune adulte (Annexe 4).
- La table de Logan et Kronfeld (40): pour la minéralisation dentaire chez le fœtus, le nouveau-né et l'enfant (Annexe 5).

Sur le plan radiographique, l'estimation de l'âge de l'individu peut être évaluée par :

- La transposition de la **technique de Kvaal et Solheim**, habituellement appliquée sur clichés intra-oraux (RA) à l'OPG de l'adulte (41).
- La **méthode de Demirjian** : l'estimation par le stade de développement des dents permanentes (42). Elle correspond au suivi des stades de minéralisation.
- La **méthode de Schour et Massler** : l'estimation de l'âge par la détermination du stade de la denture de l'enfant, l'adolescent ou le jeune adulte (43). Elle correspond au suivi des stades d'éruption (Annexe 6).

a) Méthode de Demirjian, Goldstein et Tanner

	Molaire	Bicuspide	Canine	Incisive
(A)				
(B)				
(C)				
(D)				
(E)				
(F)				
(G)				
(H)				

Figure 22 : Stades de développement et de minéralisation de la denture permanente, adapté de la méthode de A. Demirjian, H. Goldstein et J. M. Tanner (42).

La méthode de Demirjian (Figure 22) est une méthode radiologique réalisable sur le sujet vivant ou décédé afin d'estimer l'âge chronologique de l'enfant, l'adolescent ou le jeune adulte en se basant sur l'âge dentaire. A la différence de l'estimation de l'âge via l'éruption dentaire, les stades de minéralisation et développement de la dent sont moins influencés par les facteurs extrinsèques environnementaux, rendant la technique de Demirjian plus fiable et plus précise que l'évaluation de l'éruption (44).

On retrouve les stades (Figure 23) :

- A : pointes cuspidiennes minéralisées, non fusionnées,
- B : pointes cuspidiennes minéralisées, fusionnées,
- C : couronne formée à moitié, émail totalement apposé, pas de visibilité des cornes pulpaire, limites de la chambre pulpaire incurvées,
- D : couronne anatomique totalement formée jusqu'à la jonction émail-cément, chambre pulpaire incurvée chez les dents monoradiculées et trapézoïde chez les dents pluriradiculées, différenciation des cornes pulpaire,
- E : début de l'édification radiculaire, les murs de la chambre pulpaire sont droits, la furcation radiculaire est visible chez les molaires,
- F : longueur radiculaire au moins identique à la longueur coronaire, les murs de la chambre pulpaire forment un triangle isocèle, les apex sont en entonnoir, la furcation radiculaire des molaires est bien différenciée,
- G : édification radiculaire terminée, murs canaux parallèles et apex ouverts,
- H : édification radiculaire terminée et apex fermés, espace desmodontal uniforme autour des racines et des apex.

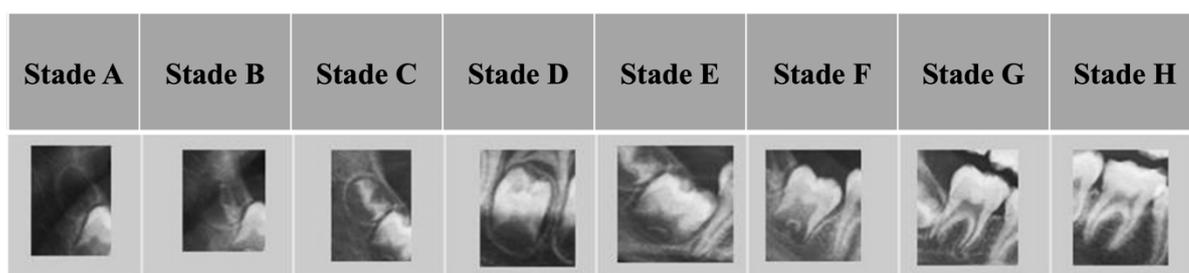


Figure 23 : Représentation radiographique des stades de développement et de minéralisation de la 2^e molaire mandibulaire selon la méthode de Demirjian, adaptée de Humphrey et al. (45).

Le stade établi pour la dent, les dents ou groupe de dents évaluées est associé à un score et la somme des scores donne le score total de développement dentaire de l'enfant (entre 0 et 100) qui est ensuite traduit en âge à l'aide de tableaux de moyennes de références de populations caucasiennes (42).

b) Méthode de Schour et Massler

La méthode de Schour et Massler (Figure 24) est une méthode historique pour estimer l'âge chronologique d'individus vivants ou décédés en s'intéressant au stade de la denture par la définition de 21 stages des dentures déciduales, mixtes et permanentes du 4^e mois intra-utérin jusqu'à l'âge de 35 ans permettant de formuler un âge dentaire que l'on peut rapporter à un âge chronologique. Il s'agit de procéder à une estimation guidée pour le processus d'éruption dentaire.

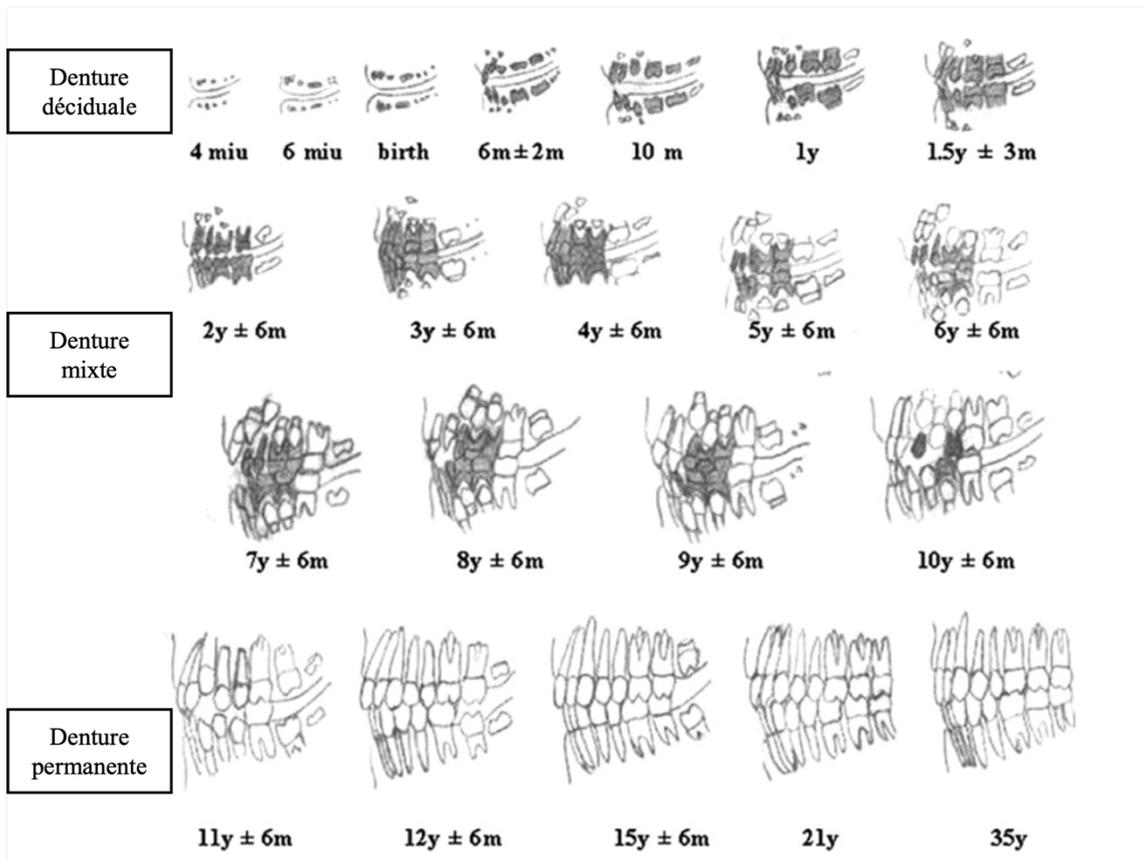


Figure 24 : Illustration des 21 étapes chronologiques de la dentition du 4^e mois à la 35^e année d'âge dentaire adaptée de Schour et Massler (46), avec miu : mois intra-utérin ; m : mois et y : années.

Identification estimative du sexe :

L'estimation du sexe de l'individu est possible sur des radiographies panoramiques par la technique de Guy Willems.

a) La technique de Guy Willems

Comme précédemment pour les rétro-alvéolaires, on cherche à évaluer des dimensions dentaires radiographique. Elle est initialement décrite sur des panoramiques (Figure 25), où furent mesurés différentes variables et ratio à partir de plusieurs repères radiographiques initiaux, sur la totalité

de la denture du sujet (29). Elle correspond à l'adaptation de la méthode de Demirjian à une autre population.

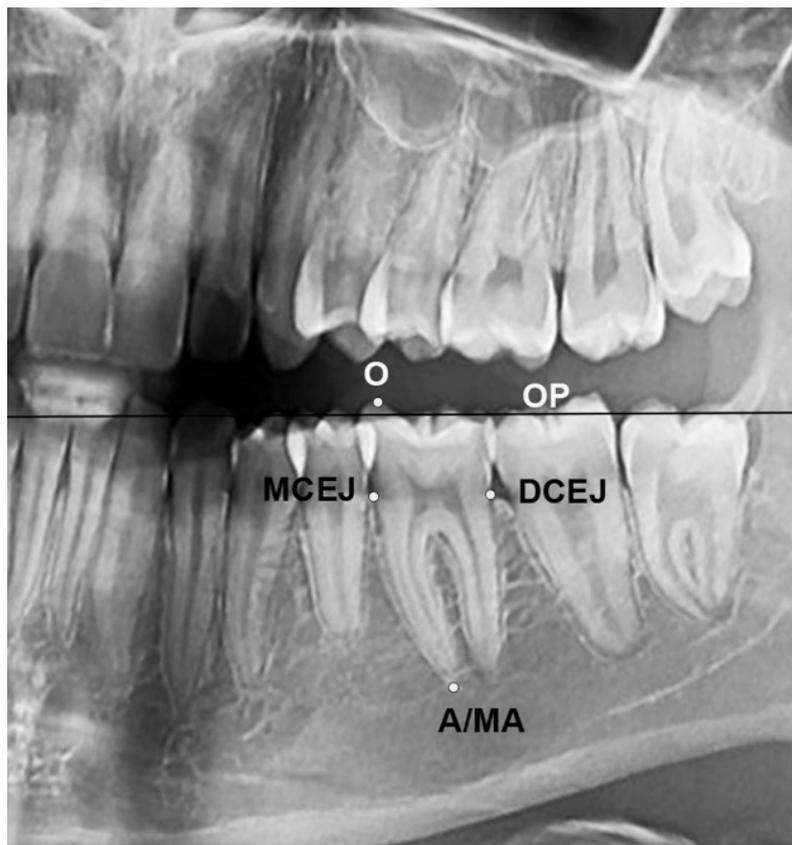


Figure 25 : Positionnement des différents repères radiographiques utilisés pour la technique de Guy Willems, sur des panoramiques dentaires avec O le point le plus occlusal, OP le plan d'occlusion de la dent, MA l'apex radiographique mésial, A l'apex radiographique des dents monoradiculées, MCEJ et DCEJ respectivement les jonction émail-cément mésiale et distale (29).

Les variables analysées sont :

- Les longueurs dentaires radiographiques : la longueur dentaire totale (TTL), la longueur dentaire totale de la perpendiculaire au plan d'occlusion (OPL), la longueur entre le point le plus occlusal et la jonction émail-cément (JEC) (CL), la longueur entre le plan d'occlusion et la JEC (CEJL), la longueur radiculaire entre la JEC et l'apex (RL).
- Les diamètres dentaires radiographiques : le diamètre coronaire mésio-distal maximal (CW), le diamètre mésio-distal entre les JEC mésiale et distale (CEJW).
- Les ratios CEJL/TTL, CEJL/RL, RL/TTL, OPL/TTL, CEJW/CEJL, CEJW/TTL, CEJW/RL.

Il a été déterminé que les variables mesurées les plus significatives dans l'expression du dimorphisme sont :

- TTL (*Total Tooth Length*) : La longueur dentaire radiographique mesurée entre O et A/MA. Les dents des sujets de sexe masculin sont radiographiquement plus longues que les sujets de sexe féminin.
- RL (*Root Length*) : la longueur radiculaire radiographique mesurée entre MJEC et A/MA. Les racines des sujets de sexe masculin sont radiographiquement plus longues que celles des sujets de sexe féminin.

Bien que cette technique soit applicable sur tout type de dent, les dents ayant présenté le dimorphisme sexuel le plus significatif sont les canines, principalement mandibulaires qui apparaissent plus longues chez les individus de sexe masculin. C'est donc ce groupe de dent que l'on retient pour la détermination du sexe de l'individu, tout en considérant cette technique non pas comme l'unique moyen mais une technique parmi une mosaïque d'autres afin d'arriver à une estimation probable du sexe (29).

b) Méthode morphométrique ramique et mandibulaire

Il est également possible d'estimer l'âge de l'individu via des structures anatomiques non dentaires visibles sur un cliché panoramique comme le ramus mandibulaire. La mandibule est l'os le plus résistant, large et dimorphique du crâne. Ce dimorphisme étant caractérisé par un volume et une densité osseuse plus importante chez l'homme que chez la femme (47). Le développement des muscles masticateurs et l'environnement qui influencent la forme de l'os lors de la croissance présentent un dimorphisme lié aux différences de pressions masticatoires. En effet, les individus de sexe masculin exercent une pression masticatoire plus importante que les individus de sexe féminin, il en résulte une différence dans le développement musculaire ayant des répercussions sur le volume et la forme de l'os durant la croissance. Ces changements morphologiques sont les plus importants au niveau du ramus mandibulaire (48,49).

On cherche à évaluer différentes variables à l'aide de plusieurs repères anatomiques du ramus mandibulaire (Figure 26) : la largeur ramique maximale (A), la largeur ramique minimale (B), la hauteur condylienne ou hauteur ramique maximale (C), la hauteur condylienne projetée entre le plus haut point du condyle mandibulaire et le bord inférieur le plus bas de la mandibule (D) et la hauteur coronoïde entre le point le plus haut du processus coronoïde et le bord inférieur le plus bas de la mandibule (E) (47).

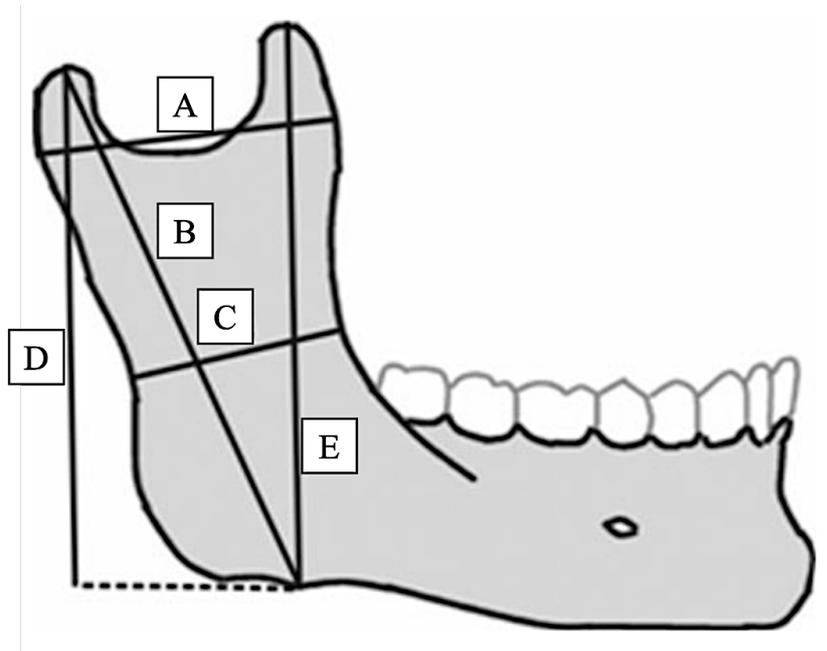


Figure 26 : Schématisation de la position des différentes variables évaluées pour la détermination du sexe à partir du ramus mandibulaire : la largeur ramique maximale (A) ; la largeur ramique minimale (B) ; la hauteur condylienne ou hauteur ramique maximale (C) ; la hauteur condylienne projetée entre le plus haut point du condyle mandibulaire et le bord inférieur le plus bas de la mandibule (D) ; et la hauteur coronoïde entre le point le plus haut du processus coronoïde et le bord inférieur le plus bas de la mandibule (E) (47).

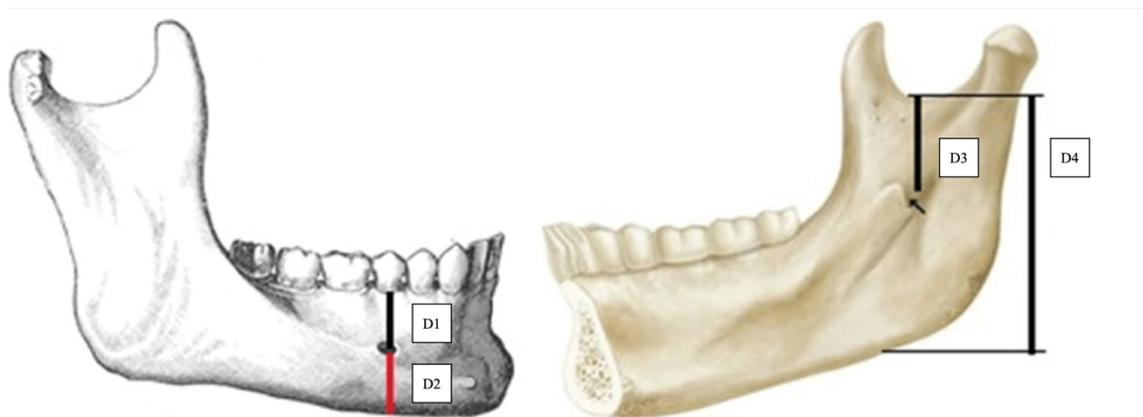


Figure 27 : Schématisation de la position des différentes variables évaluées pour la détermination du sexe à partir des foramina mandibulaire et mentonnier (50).

Il est possible d'également évaluer les positions verticales du foramen mandibulaire ainsi que du foramen mentonnier (Figure 27). On cherche à évaluer différentes variables à l'aide de plusieurs repères anatomiques des foramina :

- Mentonnier : la distance verticale formée par la ligne la plus courte passant par le centre du foramen mentonnier, entre le bord supérieur du foramen mentonnier, entre le bord supérieur du foramen mentonnier et le point le plus bas du bord inférieur de la crête osseuse alvéolaire (D1) et la distance verticale formée par la ligne la plus courte passant par le centre du foramen mentonnier, entre le bord inférieur du foramen mentonnier et la limite supérieure de la crête osseuse alvéolaire (D2).
- Mandibulaire : la distance verticale entre le point le plus bas de l'incisure mandibulaire et le bord supérieur du foramen mandibulaire, passant par le centre du foramen mandibulaire (D3) et la distance verticale entre le point le plus bas de l'incisure mandibulaire et bord inférieur du ramus mandibulaire, passant par le centre du foramen mandibulaire (D4) (51).

Ces repères anatomiques sont transposés à des clichés radiographiques et mesurés (Figure 28).

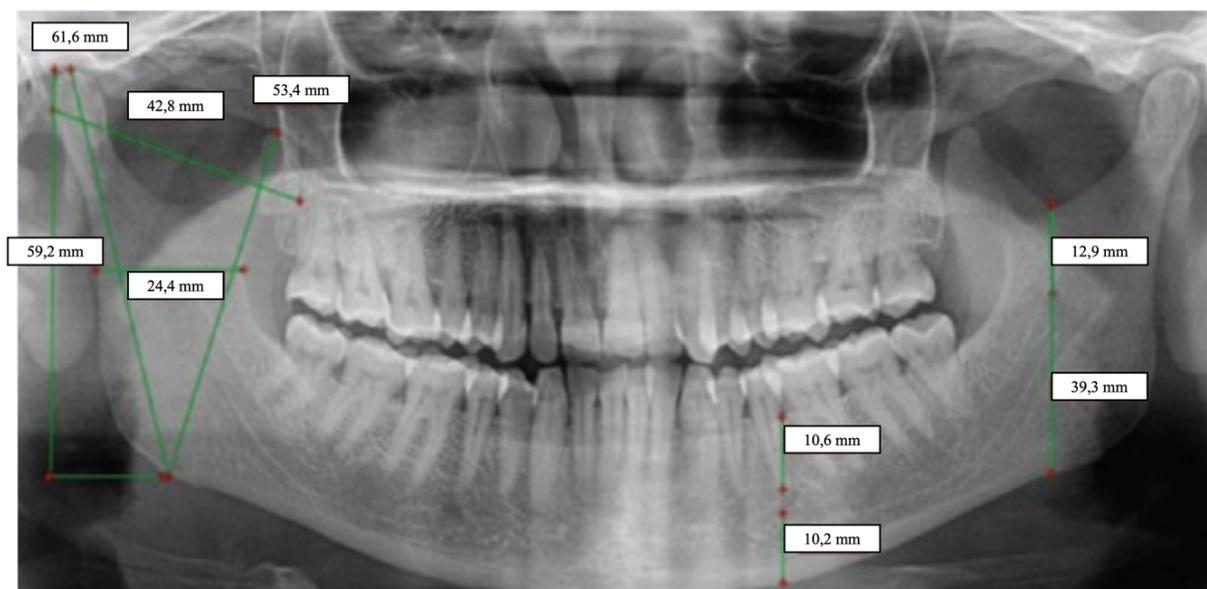


Figure 28 : Représentation des différentes variables morphométrique évaluées pour la détermination du sexe sur radiographie panoramique par analyse du ramus et des foramina mandibulaire et mentonnier adapté de Sairam et al. (50).

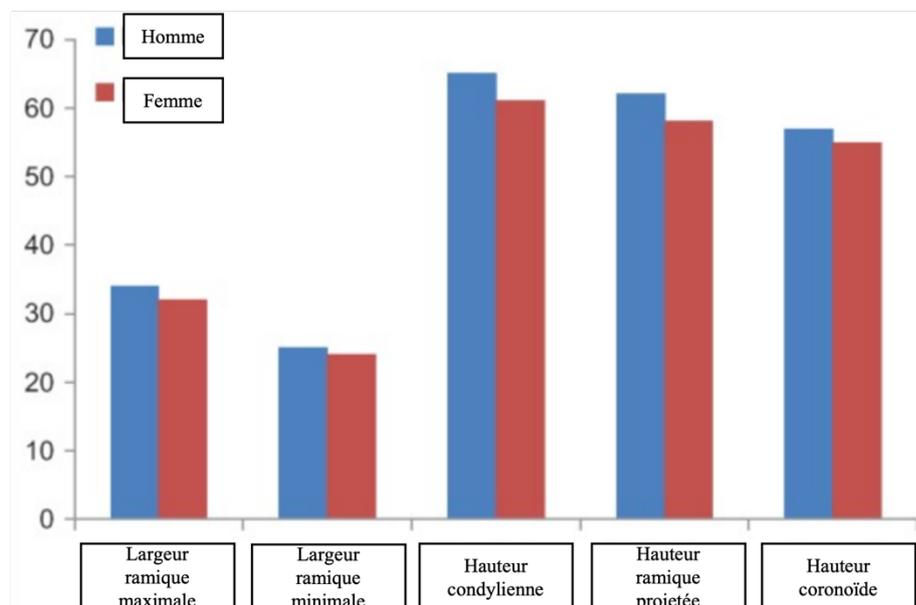


Figure 29 : Mesures moyennes des variables étudiées pour le ramus mandibulaire entre des sujets de sexe masculin et féminin, adapté de Samatha et al. (52).

Toutes ces variables présentent un dimorphisme existant, les valeurs recueillies étant plus importantes chez les individus de sexe masculin que chez les individus de sexe féminin (Figure 29). Leur étude est donc appropriée dans l'estimation radiographique du sexe de l'individu. Les variables présentant le dimorphisme le plus significatif sont les largeurs et hauteurs ramiques (A, B, C et D) avec un taux de précision avoisinant les 80% (50,52).

Ces techniques sont pertinentes lorsqu'il n'est pas possible de se reposer sur l'analyse anthropologique de l'os pelvien et du crâne qui ensemble présentent le plus haut taux de précision (proche de 100%) (53), par exemple lorsque ceux-ci sont incomplets ou fragmentés.

Il existe dans la littérature d'autres variables mandibulaires radiographiques relevables pour évaluer le dimorphisme sexuel (Figure 30) comme la largeur inter-condylienne (*bicondylar breadth*), la largeur inter-goniale (*bigonial width*), la longueur mandibulaire (*mandibular length*), la hauteur de la symphyse mentonnière ou encore l'ouverture de l'angle goniale (*gonial angle*). Chacun de ces paramètres a été déterminé comme significatif dans l'estimation du sexe de l'individu, bien que le taux de significativité des certaines variables comme l'angle goniale soit parfois inconsistant entre les études (54,55).

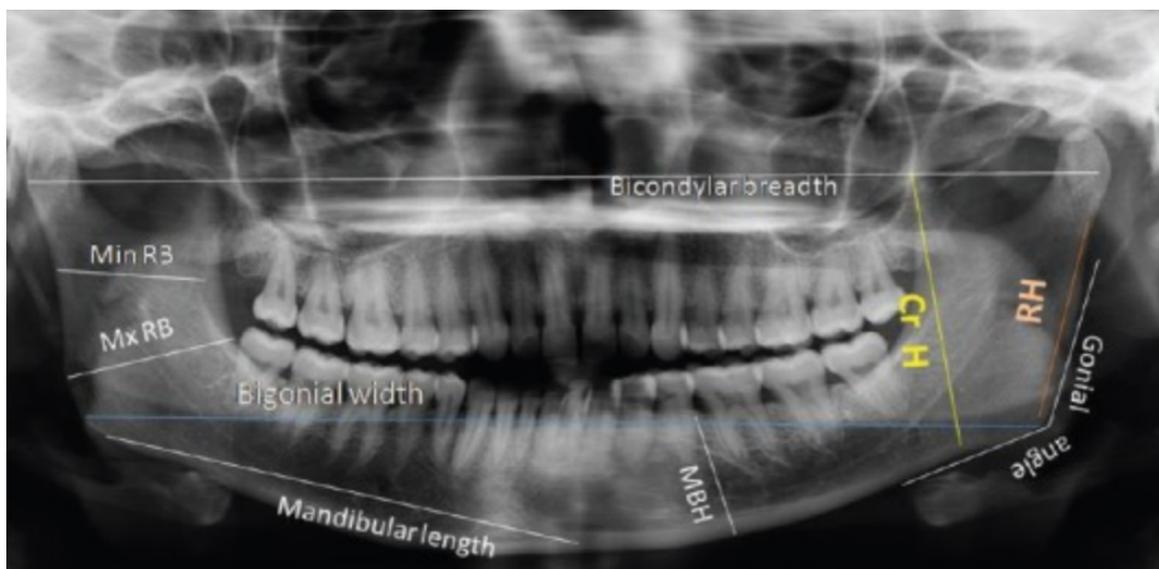


Figure 30 : Représentations de différents paramètres morphométriques évaluées pour la détermination du sexe sur radiographie panoramique (55).

Les variables analysées sont en effet tributaires de l'origine ethnique, socio-économique, de l'environnement et des habitudes de vie du sujet qui expliquent les différences des études en fonction des échantillons de sujets.

4.2.2.2 Intérêt

Depuis plusieurs années, il y a une diversification de l'équipement des cabinets dentaire de ville avec le panoramique dentaire. Une démocratisation liée à des prix plus abordables. Ce qui occasionne une plus grande fréquence de survenue dans les dossiers *ante-mortem*.

Un des principaux intérêts du cliché panoramique c'est la possibilité d'évaluer la totalité de la denture et des structures environnantes en un seul cliché.

4.2.2.3 Limites

La distorsion d'image, la fiabilité des mesures, la reproductibilité complexe selon le contexte *post-mortem* sont des facteurs de difficultés dans l'utilisation de radiographie panoramique.

De plus, l'accessibilité de l'appareillage au sein des IML (Instituts de Médecine Légale) peut poser des problèmes pour systématiser cette technique. En effet, les panoramiques dentaires disponible dans les hôpitaux sont plutôt réservés à un usage hospitalier et clinique plutôt qu'à des fins médico-légales. En outre, selon l'état de conservation du cadavre et la présentation de ses restes, il peut parfois être difficile de correctement positionner les restes afin d'obtenir un panoramique de qualité (Figure 31).

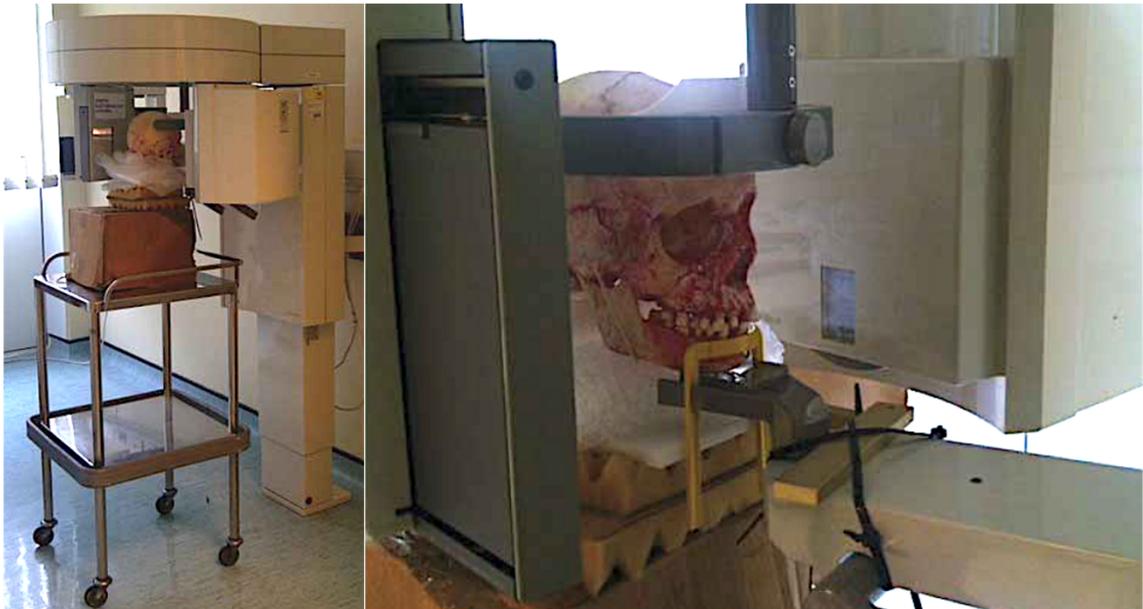


Figure 31 : Support improvisé pour aider au soutien d'un crâne en état de squelettisation dans une position correcte pour réaliser un panoramique (56).

4.2.2.4 Cas pratique

L'accessibilité parfois difficile d'une radiographie panoramique dentaire dans les instituts de médecine légale rend parfois nécessaire la comparaison de radiographie panoramique *ante-mortem* avec des radiographies *post-mortem* d'un autre type, rétro-alvéolaire le plus souvent (Figure 32).

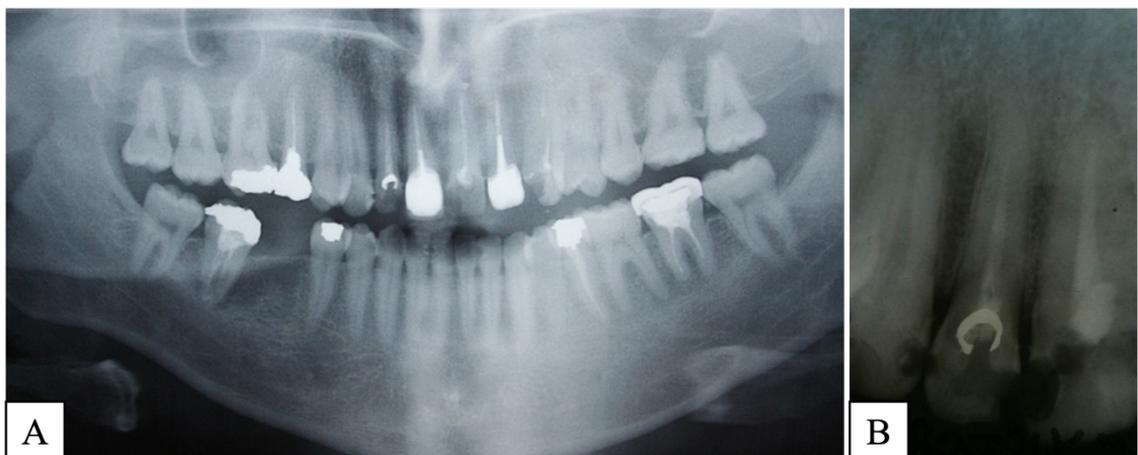


Figure 32 : Comparaison de cliché panoramique *ante-mortem* (A) et rétro-alvéolaire *post-mortem* (B) ; avec l'accord de l'Institut de médecine légale de Lille et de Mme le docteur Anne Bécart.

Dans ce cas clinique, l'analyse du cliché *ante-mortem* rapporte de multiples restaurations, soins et lésions carieuses, dont une en particulier capte l'attention : une radio-opacité en forme d'anneau centrée sur la région cervicale de l'incisive latérale maxillaire droite.

Cette forme atypique de restauration a été recherchée et trouvée par la réalisation d'une radiographie rétro-alvéolaire *post-mortem* centrée sur la même dent de l'individu à identifier. Bien que la collecte d'avantages d'indices odonto-stomatologiques soit parfois nécessaire pour formuler une identification positive de l'individu, les informations radiologiques sont parfois l'unique outil ou source de données à la disposition des investigateurs.

4.2.2.5 Récapitulatif (Tableau 11)

Le panoramique dentaire est la technique radiographique extra-orale la plus répandue en odontologie. Sa globalité, sa facilité de réalisation ainsi que son accessibilité en pratique clinique et hospitalière ces dernières années en font une technique à part entière du dossier dentaire *ante-mortem*. En France, elle fait également aujourd'hui l'objet d'une réalisation systématique dans l'armée et les équipages de compagnies aérienne. Les instituts médico-légaux bénéficiant de l'appareillage peuvent l'intégrer avec succès dans la phase radiologique du dossier dentaire *post-mortem*, autant pour ses qualités en identification comparatives que la multitude de méthodes radiologiques développées ces dernières années en identification estimative.

Tableau 11 : Tableau récapitulatif des méthodes, indications, avantages, inconvénients et limites de la radiographie panoramique en identification odontologique [production personnelle].

<p>Méthodes comparatives</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formule dentaire radiographique • Anatomie et topographie dentaire et parodontale • Pathologies dento-alvéolaire • Pathologies osseuses et articulaires • Thérapeutiques de dentisterie restauratrices et endodontiques • Thérapeutiques prothétiques, implantaire et chirurgicales
<p>Méthodes estimatives de l'âge</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Technique de Kvaal modifiée • Technique de Demirjian • Technique de Schour et Massler
<p>Méthodes estimatives du sexe</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Technique de Guy Willems • Morphométrie ramique et mandibulaire
<p>Indications</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identification odontologique de corps isolés • Identification odontologique des victimes de catastrophes de masses • Corps frais, non décomposé • Décomposition avancée • Squelettisation • Altérations : carbonisation
<p>Avantages</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vision globale des arcades et des structures anatomiques voisines • Gain de temps : 1 seul cliché contre une multitude de RA • Position standardisée reproductible • Moins de problèmes d'angulation • Accessibilité
<p>Inconvénients et limites</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Flou du secteur antérieur et superpositions du secteur postérieur • Altérations ou fragmentations corporelles trop importantes pour un examen extra-oral • Appareillage de volume important, rarement nomade • Limitations intrinsèques de la 2D • Artefacts radiographiques

4.3 Techniques occasionnelles

4.3.1 Le scanner

4.3.1.1 Indications

Le scanner fournit des outils d'aides au diagnostic d'identification qui ne pourrait pas être renseigné par des radiographies rétro-alvéolaires ou encore un panoramique ou lorsque l'usage de celles-ci paraît compliqué en fonction de la situation médico-légale. En effet, l'une des applications les plus répandues est l'évaluation de l'anatomie des sinus para-nasaux maxillaires et frontaux.

a) Les sinus maxillaires

Les sinus maxillaires sont des cavités aériques de l'os zygomatique appartenant à la famille des sinus para-nasaux (avec les sinus frontal, sphénoïdal et ethmoïdal).

En identification comparative, la pneumatisation, phénomène physiologique touchant les sinus para-nasaux durant la période de croissance et qui cause une augmentation de leurs volume respectif, et la morphologie sinusienne qui en découle sont différents selon les individus au niveau des formes, des dimensions et des récessus (57). Il est théoriquement possible de réaliser une identification comparative à l'aide des sinus maxillaires. Cependant, dans la littérature, c'est le sinus frontal qui est le plus communément utilisé pour de l'identification comparative, les sinus maxillaires ne l'étant que très peu, en effet, leur apparition radiographique tardive, à l'âge de 6 ans et leur maturation incomplète, qui s'achève vers l'âge de 20 ans sont facteurs d'imprécision (58). De plus, ils subissent de nombreux remaniement au cours de la vie liés à l'âge, les conditions environnementales, le lieu de vie, les pathologies sinusiennes, les édentations et la résorption de l'os alvéolaire (59). L'ensemble de ces facteurs rendent peu fiable l'évaluation comparative morphologique des sinus maxillaires comparé à d'autres structures plus immuables, comme le sinus frontal.

En identification estimative, il existe un **dimorphisme sexuel** dans la morphologie des sinus maxillaires. Classiquement, la détermination du sexe est possible à l'aide des os longs (évaluation des épiphyses et métaphyses), du pelvis mais aussi du crâne via les distances entre différents repères céphalométriques (basion, prosthion, nasion), les circonférences crânienne et condylienne ou les longueurs et hauteurs anatomiques mastoïdienne, ramique, supra-orbitaire, palatine ou symphysaire mais aussi par l'anatomie des sinus para-nasaux maxillaires, frontal et sphénoïdal (60–62). Il est possible d'obtenir une précision d'estimation du sexe de l'individu de 100% à partir du squelette complet. La littérature rapporte des estimations de 98% à partir du pelvis et du crâne, 95% à partir du pelvis seul, du pelvis et des os longs, 90 à 95% à partir du crâne et des os longs, 80-90% à partir des os longs seuls (63).

Une analyse morphométrique permet de déterminer le sexe de l'individu en fonction de la hauteur, la largeur, la profondeur et le volume global des sinus maxillaires avec une précision dépassant parfois les 80%. Elle s'avère satisfaisante lorsque les restes sont fragmentés, limités ou manquants. Cette analyse vient compléter d'autres analyses estimatives du sexe de l'individu afin d'augmenter la précision de l'identification.

L'avantage des sinus maxillaires en identification estimative du sexe de l'individu décédé c'est l'état de conservation de son anatomie après la mort. En effet, les sinus para-nasaux et notamment les sinus maxillaires sont très résistants aux phénomènes d'altérations liés aux milieux de conservations, aux causes de décès (carbonisation) et aux modifications physiologiques *post-mortem* (décomposition).



Figure 33 : Mesure de la hauteur et la largeur des sinus maxillaires sur coupe frontale de scanner (64).

La morphométrie des sinus maxillaires s'attache à l'analyse des dimensions sinusiennes dans les 3 plans de l'espace, via des plans de coupes, en prenant pour références les points culminants des parois sinusiennes (Figure 33). Dans les moyennes rapportées par la littérature, les **dimensions** sinusiennes maxillaires sont **plus importantes chez l'homme que chez la femme**. Les dimensions sinusiennes sont **plus importantes à droite qu'à gauche** chez l'homme comme chez la femme (65–67). Le **volume** sinusien maxillaire est **plus important chez l'homme que chez la femme**. Le volume sinusien est **plus important à droite qu'à gauche** chez l'homme comme chez la femme (64,66).

b) Le sinus frontal

Le sinus frontal est une cavité aérique de l'os frontal appartenant à la famille des sinus paranasaux (avec les sinus maxillaires, sphénoïdal et ethmoïdal). La morphogénèse du sinus frontal débute vers l'âge de 3 ans mais celui-ci n'est détectable radiologiquement que vers l'âge de 4 à 6 ans (62). Les sinus frontaux sont des structures **uniques à chaque individu**. L'anatomie caractéristique fait l'objet de variation interindividuelle chez l'espèce humaine. En identification comparative, il possède une grande valeur car il présente une morphologie spécifique à chaque individu. Il a même été démontré que l'anatomie du sinus frontal est différente chez des jumeaux homozygotes (68,69). En identification estimative, il existe un **dimorphisme sexuel** dans la morphologie des sinus frontaux. En effet la largeur est inférieure chez la femme, ainsi que plus marquée et significative à gauche qu'à droite. La précision est cependant inférieure à l'évaluation des sinus maxillaires pour la détermination du sexe (70). La morphologie du sinus frontal fait l'objet de remaniement et de modifications durant la période de puberté, rendant difficile l'estimation chez les individus jeunes. Cependant, le sinus frontal présente un haut degré de **stabilité** après la fin de sa croissance, vers l'âge de 20 ans et cela même après le décès (en dehors de certaines influences environnementales comme les traumatismes, les tumeurs ou l'hyperpneumatisation chez les individus sportifs) (60). Il existe aussi des variabilités ethniques de l'anatomie sinusienne frontale comme une pneumatisation plus faible chez les individus d'origine nordique (70).

L'analyse morphologique des sinus frontaux s'attache à l'analyse comparative des formes sinusiennes dans les 3 dimensions de l'espace, via des plans de coupes, on identifie :

- Les 2 sinus frontaux, droit et gauche : présence, absence totale ou absence unilatérale d'un des deux sinus (aplasies sinusiennes)
- Les septums inter-sinusiens : absence totale, présence complète ou incomplète
- Les septums intra-sinusiens : absence totale, présence complète (droit et gauche) ou incomplète (droit ou gauche).
- La présence d'un « scalloping » bilatéral ou polylobage ou festonnage sinusien
- Le « scalloping » unilatéral droit ou gauche
- Le nombre de lobes
- L'envahissement sinusien en pathologie des sinus (sinusite frontale, pansinusite, envahissement tumoral, envahissement cérébro-spinal)
- L'intégrité des parois sinusiennes en traumatologie et balistique

Historiquement, la visualisation des sinus para-nasaux et plus spécifiquement le sinus frontal et ethmoïdal était réalisée par l'incidence antéro-postérieure de Caldwell. La tête est positionnée menton orienté vers le bas et l'avant, tube radiogène orienté selon un angle de 15° par rapport au nasion (71).

Il est possible pour l'identification comparative de comparer la morphologie des deux images par superposition assistée par ordinateur (Figure 34).

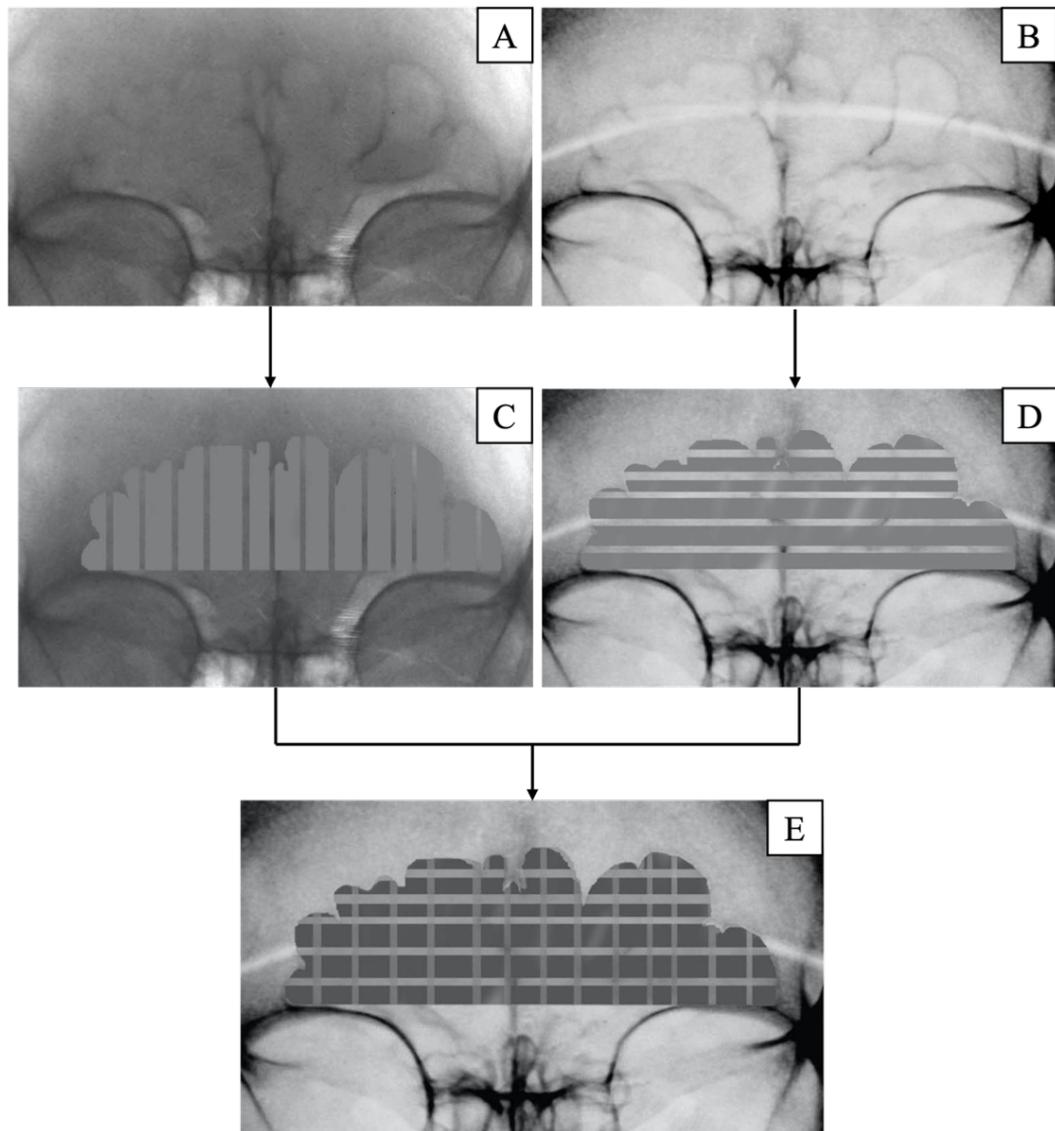


Figure 34 : Incidence de Caldwell du sinus frontal *ante mortem* (A) et *post mortem* (B) avec augmentation du contraste et de la luminosité et délimitations *ante-mortem* (C), *post-mortem* (D) du sinus frontal et leur superposition assistée par ordinateur (E) adapté de da Silva et al. (70).

La morphométrie des sinus frontaux s'attache à l'analyse des dimensions sinusiennes dans les 3 dimensions de l'espace, via des plans de coupes et la dite technique de Ribeiro (72).

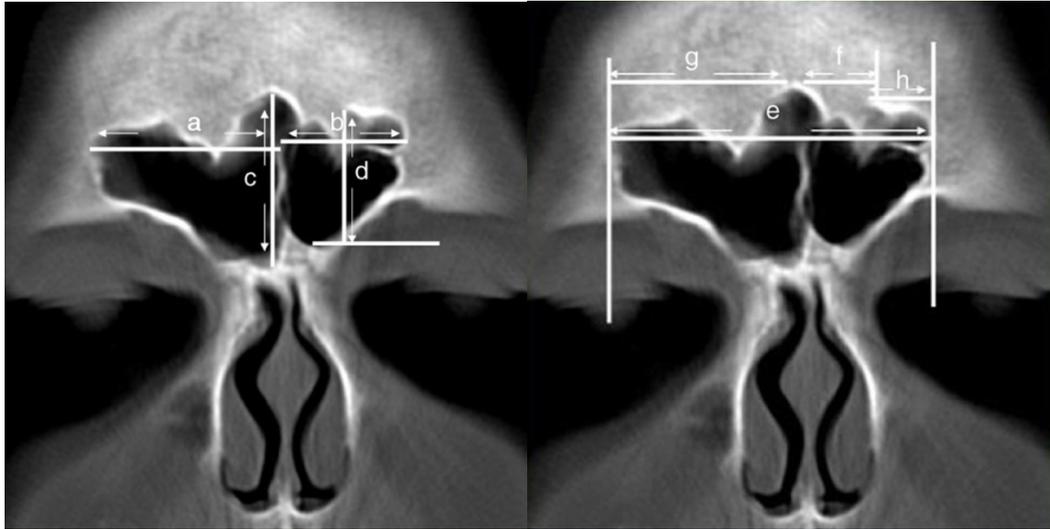


Figure 35 : Mesures morphométriques du sinus frontal sur une coupe frontale d'un scanner du massif facial (73).

Dans le plan frontal (Figure 35), on évalue la largeur du sinus frontal droit (a), la largeur du sinus frontal gauche (b), la hauteur du sinus frontal droit (c), la hauteur du sinus frontal gauche (d), la largeur totale des sinus frontaux droit et gauche (e), la distance entre les 2 points les plus hauts des deux sinus (f), la distance entre le plus haut point du sinus droit et de sa limite latérale maximale (g) et la distance entre le plus haut point du sinus gauche et de sa limite latérale maximale (h) (73).

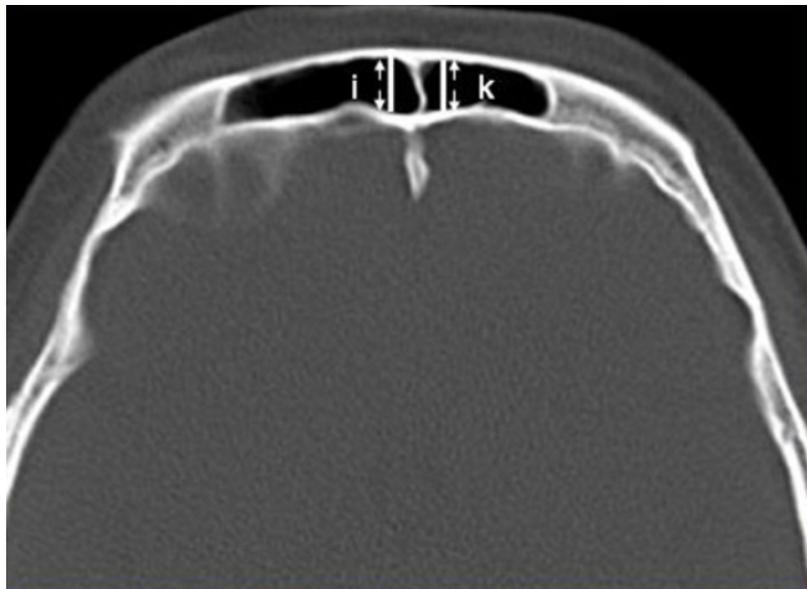


Figure 36 : Mesures morphométriques du sinus frontal sur une coupe axiale d'un scanner du massif facial (73).

Dans le plan axial (Figure 36), on évalue la profondeur ou largeur antéro-postérieure du sinus gauche (i) et la profondeur ou largeur antéro-postérieure du sinus droit (k).

4.3.1.2 Intérêts

La fragmentation, le traumatisme, la décomposition avancée, la carbonisation ou tout autre évènement ne laissant pas intactes les structures maxillaires nécessite de trouver d'autres structures osseuses afin de compléter l'analyse médico-légale *post-mortem*. Cette technique non destructrice trouve un intérêt à l'ère de la dentisterie préventive, prophylactique et mini-invasive, où les soins délabrants sont de plus en plus rares dans notre société actuelle, en prenant compte de l'origine socio-culturelle des individus et leur âge. Une absence de soins dentaire ne signifie pas une absence de données pour l'identification odontologique : les particularités anatomiques dentaires et osseuses des maxillaires mais aussi du massif facial interviennent dans le processus d'identification et deviennent une mosaïque d'informations détaillées au service de l'odontologiste médico-légal.

4.3.1.3 Limites

Le dimorphisme sexuel repérable et mesurable sur le scanner n'est qu'une alternative en l'absence de possibilité d'analyse biométrique plus précise comme notamment la dimension pelvienne. On retrouve également comme limites, l'accessibilité et le coût important de l'appareil. Il y a également une difficulté de réconciliation de ce type de données dans le dossier *ante-mortem* (hôpitaux, cliniques privées, cabinets de radiologie, rarement dans des cabinets dentaire).

4.3.1.4 Cas Pratique

Utilisation systématique en identification de masse : scanner en chaîne d'identification :

On retrouve ici l'exemple d'un scanner *ante* et *post-mortem* d'un individu en état de décomposition avancée, dont les causes du décès sont incertaines et dont l'identification positive a été apportée via cette technique d'imagerie (Figure 37).

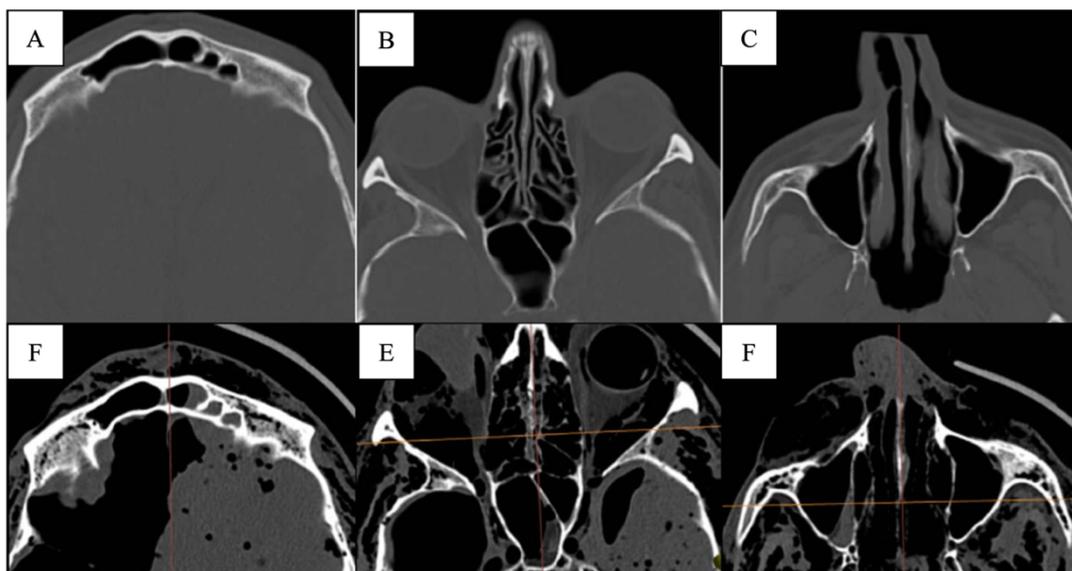


Figure 37 : Coupe Axiale de scanner *ante-mortem* au niveau des sinus frontal (A), sphénoïdal (B) et maxillaires (C) et le matching avec un scanner *post-mortem* au niveau des sinus frontal (D), sphénoïdal (E) et maxillaires (F) (74).

On remarquera les similitudes dans l'anatomie des sinus para-nasaux et le contexte d'état de décomposition avancée qui occasionnent une perte tissulaire et la modification des niveaux de fluides et gaz après liquéfaction cérébrale. On retrouve ici l'exemple d'un scanner *ante* et *post-mortem* d'un individu décédé de traumatisme sévère lors d'un accident ferroviaire (Figure 38).

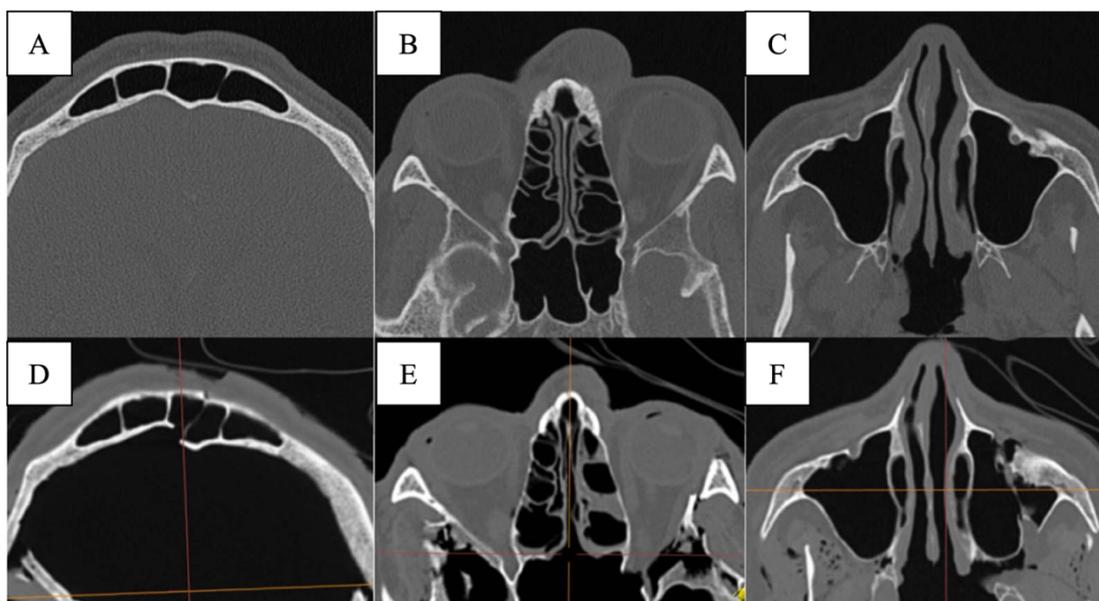


Figure 38 : Coupe Axiale de scanner *ante-mortem* au niveau des sinus frontal (a), sphénoïdal (b) et maxillaires (c) et le matching avec un scanner *post-mortem* au niveau des sinus frontal (d), sphénoïdal (e) et maxillaires (f) (74).

On remarquera les similitudes dans la morphologie des sinus para-nasaux, l'absence de signe radiologique de décomposition ou squelettisation avancés et de multiples fractures du sinus frontal, de l'orbite gauche, de l'os zygomatique gauche et du sinus sphénoïdal.

Utilisation exceptionnelle et rare, en identification ponctuelle :

Dans cette étude de cas, afin de déterminer s'il y a correspondance entre un défunt et un individu disparu, un scanner *ante-mortem* en incidence de Caldwell est collecté dans le dossier *ante-mortem*. Un scanner d'incidence similaire est alors réalisé sur l'individu décédé (Figure 39) (75).

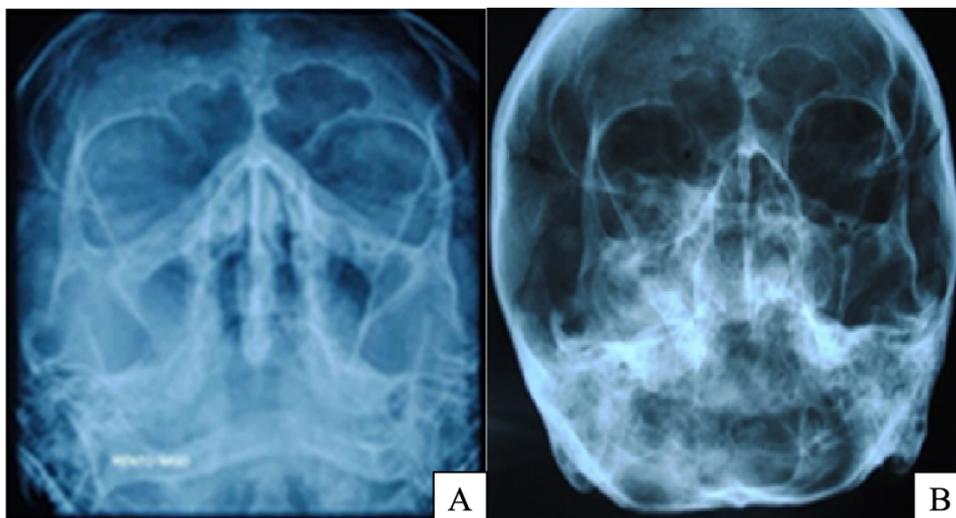


Figure 39 : Scanner *ante-mortem* (A) du disparu et scanner *post-mortem* (B) du décédé (75).

L'analyse comparative visuelle des deux images présente des similitudes anatomiques claires. Le lobage, la forme, la distinction droite/gauche et la présence du septum inter-sinusal sont des indices radiographiques qui nous orientent vers une identification positive du défunt. Cependant, on préfère se reposer sur des mesures objectives afin de confirmer avec précision la corrélation entre les deux individus.

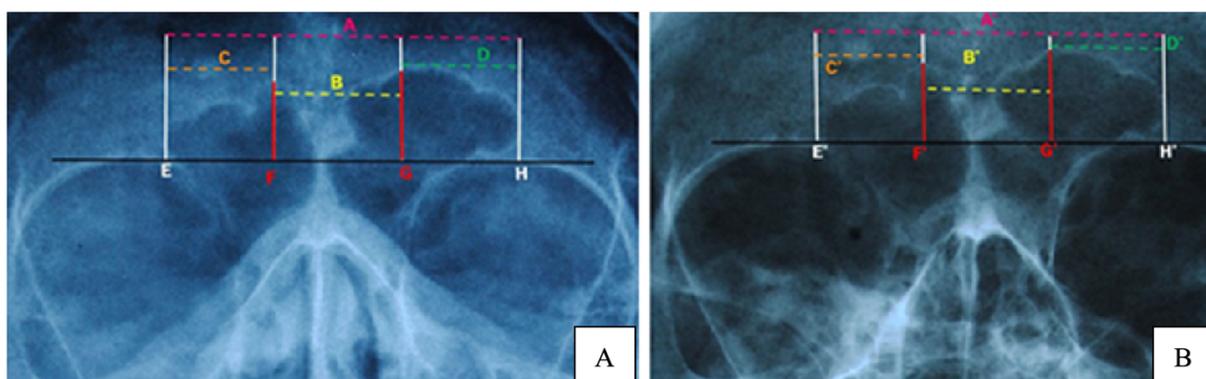


Figure 40 : Mesures morphométriques radiographiques réalisées sur les radiographies *ante-mortem* de l'individu disparu (A) et *post-mortem* de l'individu décédé (B) par la technique de Ribeiro (75).

La technique de Ribeiro (Figure 40) est ici utilisée pour établir des mesures radiographiques. Les données *ante-mortem* (AM) et *post-mortem* (PM) sont compilées dans le tableau suivant (Tableau 12) :

Tableau 12 : Résumé des mesures effectuées par la technique de Ribeiro sur les radiographies *ante-mortem* et *post-mortem*, A à G étant représentés sur la figure 45, adapté de Silva et al. [58].

Mesures	AM (mm)	PM (mm)	AM/PM
A	45	60	0.75
B	17	24	0.71
C	13	18	0.72
D	15	18	0.83
F	10	14	0.71
G	12	16	0.75

On remarque cependant des différences de valeurs entre les mesures relevées. Celles-ci sont attribuables à la différence d'angle d'incidence entre les deux images (76). Dans ce cas, la seule comparaison radiographique de l'anatomie des sinus frontaux a été un paramètre suffisant pour établir une identification positive de l'individu décédé, en l'absence d'autres indices odonto-stomatologiques relevables.

4.3.1.5 Récapitulatif (Tableau 13)

Le scanner est une technique qui a fait ses preuves sur le plan clinique. En identification odontologique, cette technique extra-orale est la première à permettre d'évaluer correctement les sinus para-nasaux, qui ont été reconnus comme étant des indices odonto-stomatologiques majeurs dans l'identification des personnes. Il s'agit de proposer de nouvelles méthodes, non odonto-centrées, afin de compléter le profil biologique des individus décédés en apportant des données supplémentaires ou alternatives mais aussi dans le cas d'une identification odontologique rétro-alvéolaire ou panoramique qui s'est avérée impossible ou incertaine.

Tableau 13 : Tableau récapitulatif des méthodes, indications, avantages, inconvénients et limites du scanner en identification odontologique [production personnelle].

<p>Méthodes comparatives</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formule dentaire radiographique • Anatomie et topographie dentaire et parodontale • Anatomie endodontique • Pathologies dento-alvéolaires • Pathologies osseuses, articulaires et sinusiennes • Thérapeutiques de dentisterie restauratrices et endodontiques • Thérapeutiques prothétiques, implantaire et chirurgicales • Anatomie comparative des sinus para-nasaux
<p>Méthodes estimatives de l'âge</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de méthode disponible
<p>Méthodes estimatives du sexe</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Morphométrie des sinus maxillaires • Morphométrie des sinus frontaux
<p>Indications</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identification odontologique de corps isolés • Décomposition avancée • Squelettisation • Fragmentation • Altérations : carbonisation
<p>Avantages</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vision globale des arcades dentaires et de tout le massif facial • Avantages intrinsèques de la 3D sur la 2D • Grand champ
<p>Inconvénients et limites</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Artefact métalliques • Artefacts de corps étrangers ou de thérapeutiques • Accessibilité • Coût • Appareillage de volume important, non nomade • Application et logistique complexe en MDVI • Techniques estimatives peu appliquées sur le terrain

4.3.2 Le CBCT

4.3.2.1 Indications

Le caractère tridimensionnel du CBCT permet de compenser les limites des techniques plus conventionnelles. Il est indiqué dans le cadre de :

- La traumatologie
- L'estimation de l'âge et du sexe : ces méthodes diffèrent des méthodes utilisées pour les radiographies comme la rétro-alvéolaire et le panoramique car elles analysent le volume dentaire tandis que les radiographies rétro-alvéolaire et le panoramique fournissent une analyse linéaire 2D d'un objet 3D.
- La localisation et visualisation de projectiles, corps étrangers et d'implants médicaux comme les implants cochléaires ou les plaques de fixation (77,78).
- La balistique : l'évaluation en trois dimensions des projectiles dans le corps humain, l'étude du trajet de l'entrée à la position d'arrêt du projectile d'arme à feu dans les tissus et l'évaluation de la déformation occasionnée par celui-ci. Le durcissement de rayon autour des balles est mineur en CBCT par rapport à un Scanner classique et permet une détection plus facile des dégâts des tissus durs au voisinage du projectile (79).
- La génération d'images similaires à des radiographies intra-orales sur des zones anatomiques spécifiques (OPG/RA) afin de faciliter les comparaisons avec les données *ante-mortem* (80).
- L'évaluation comparative des sinus para-nasaux, au même titre et applications que le scanner, avec les avantages que présente le CBCT sur celui-ci.

Estimation de l'âge

Il est possible d'estimer l'âge de l'individu en radiographie 3D comme le CBCT par l'étude du ratio du volume pulpaire et du volume dentaire total. L'analyse de ce ratio est basée sur les mécanismes physiologiques du vieillissement et de l'apposition de dentine secondaire et donc de la diminution du volume pulpaire avec l'âge. Cette évaluation se fait sur des dents mono-radiculées du fait de l'anatomie pulpaire complexe et variable des dents pluri-radiculées. On analyse principalement les incisives centrales maxillaires qui présentent le plus grand degré de corrélation du ratio volume pulpaire/volume dentaire avec l'âge chronologique (Figure 41) (81). Cette technique est initialement décrite sur des radiographies en deux dimensions, cependant, l'apposition de dentine secondaire n'est pas un phénomène uniforme sur toute la périphérie de la chambre pulpaire mais présente des différences topographiques significatives qui nécessitent une évaluation plus précise, en trois dimensions.

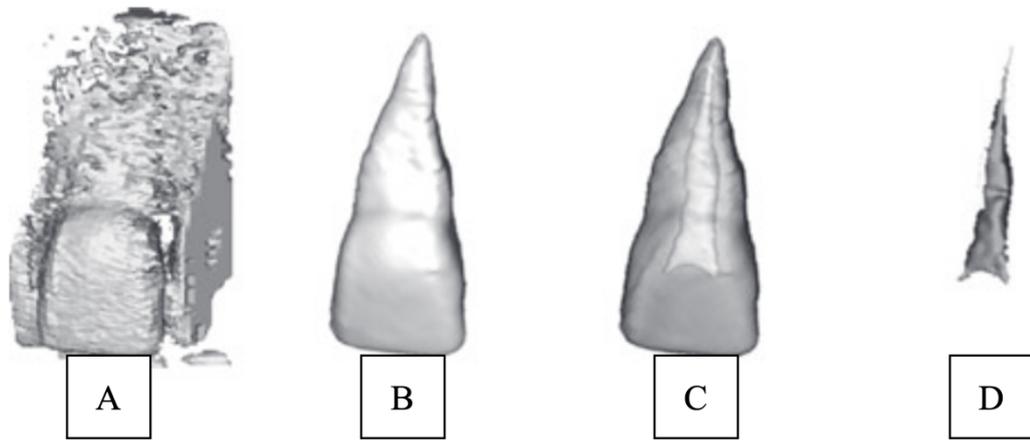


Figure 41 : Séparation et segmentations d’une incisive centrale maxillaire à partir d’un fichier *Dicom* de CBCT importé sur Simplant® Pro Software avec A : segmentation au voisinage de la dent d’intérêt ; B : isolation de la dent d’intérêt ; C : segmentation de la pulpe de la dent d’intérêt ; D : isolation du volume pulpaire de la dent d’intérêt (81).

Il est ensuite possible d’exporter les données dans des logiciels capables d’automatiser l’isolation des dents, de la pulpe ainsi que de faciliter les calculs des ratios (Figure 42). Cette technique devient alors facilement reproductible.

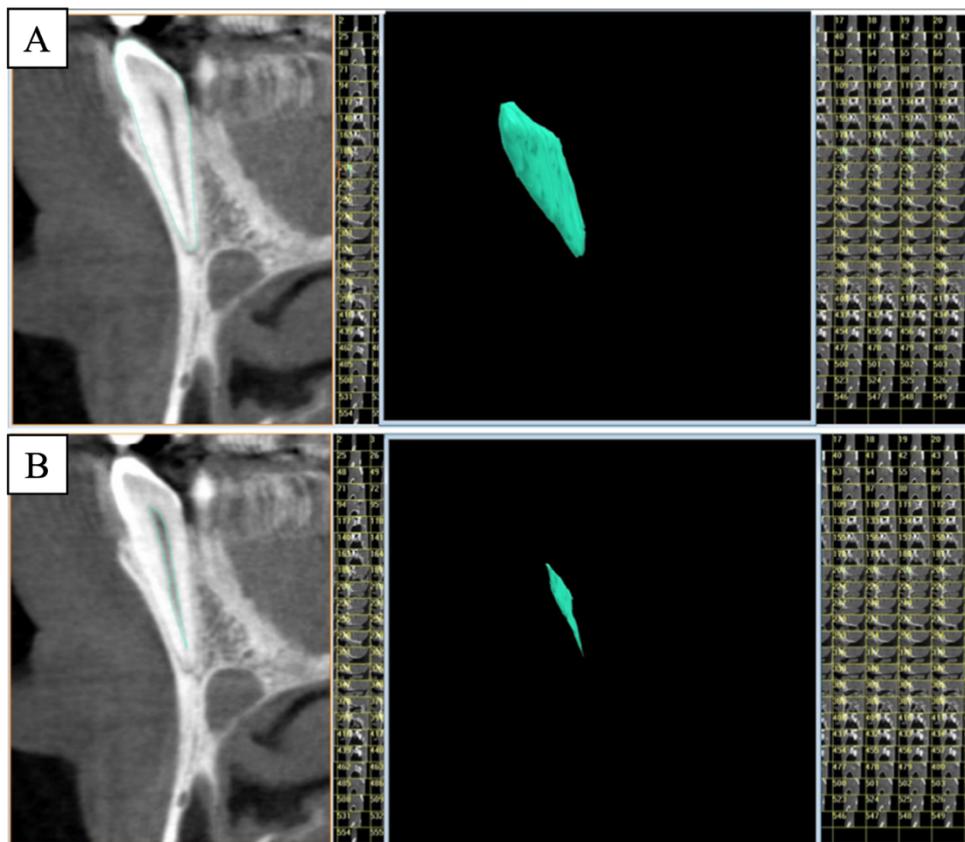


Figure 42 : Isolation automatisée du volume dentaire (A) et du volume pulpaire (B) à partir d’un fichier *Dicom* de CBCT importé dans un logiciel de rendu volumétrique de mesure par segmentation vectorielle, coupe par coupe (82).

Le volume pulpaire est cependant sujet à des modifications pathologiques et thérapeutiques qui peuvent empêcher l'estimation via cette technique : les restaurations, les traitements endodontiques, les traitements par corticothérapie de long terme, les variabilités anatomiques comme le taurodontisme ou encore certaines pathologies congénitales et affections systémiques comme la dentinogénèse imparfaite caractérisée par une oblitération pulpaire sont des motifs d'exclusion de la dent. Les dents concernées par ces spécificités ne représentent pas l'expression naturelle du processus de vieillissement biologique (27,83).

Bien que ces paramètres soient utiles et significatifs dans la détermination de l'âge de l'individu, les études rapportent notamment qu'ils sont moins évocateurs dans la détermination du sexe de l'individu. Celui-ci devrait être estimé via d'autres méthodes.

Estimation du sexe

Le volume pulpaire n'est pas un indicateur significatif du dimorphisme sexuel des individus. Cependant, de façon similaire aux techniques estimatives panoramique et rétro-alvéolaire, il est possible d'évaluer ce dimorphisme sur le volume dentaire total, et plus spécifiquement le volume total de la dent la plus dimorphique : la canine mandibulaire (84,85). Il est également possible de transposer les méthodes morphométriques d'estimation du sexe de l'individu, via des repères anatomiques sur les radiographies panoramiques vues précédemment, au CBCT et à des taux de réussite similaires. De même que pour la radiographie panoramique, il est possible de mesurer avec grande précision les 8 principaux paramètres d'estimation radiographique du dimorphisme c'est-à-dire la longueur ramique, l'angle goniale, la longueur du corps mandibulaire (du gonion au gnathion), la largeur inter-goniale, la largeur inter-condylienne et la hauteur mandibulaire à la canine. L'analyse de ces paramètres en est améliorée du fait de la plus grande qualité d'image, de la faible occurrence des phénomènes de distorsions et du caractère tri-dimensionnel de la technique (86,87).

4.3.2.2 Intérêt

- La précision radiologique de la méthode permettant sur des champs de petite taille d'analyser les architectures canalaire, les obturations endodontiques et les petites lésions des maxillaires.
- La résolution spatiale élevée pour l'analyse des structures osseuse.
- La rapidité de l'acquisition et des résultats, importante pour plusieurs points : la nécessité d'identifier l'individu le plus rapidement possible afin d'en apporter l'information à sa famille
- Le gain de temps considérable par rapport à des radiographies en chaîne d'identification, bouche complète lors de catastrophe de masse.

- La reconstruction d'image par CBCT offre un véritable gain de temps à l'odontologiste comparée à des reconstructions plus « courantes » comme les rétro-alvéolaires ou le panoramique dentaire.
- L'irradiation faible, négligeable pour le sujet car décédé mais à prendre en compte pour l'application de la radioprotection en tant que protection individuelle du manipulateur.
- Des systèmes de petite taille comme les CBCT Intra-opératoires.
- La portabilité du système est un véritable avantage pour l'identification des victimes de catastrophes de masses où le terrain nécessite des systèmes compacts et transportables (88).

En outre, il fait l'objet d'une calibration et d'un entretien plus aisé qu'un scanner. D'autre part, il opère une mitigation des artefacts métalliques et du durcissement de rayon supérieure à un scanner conventionnel (Figure 43).

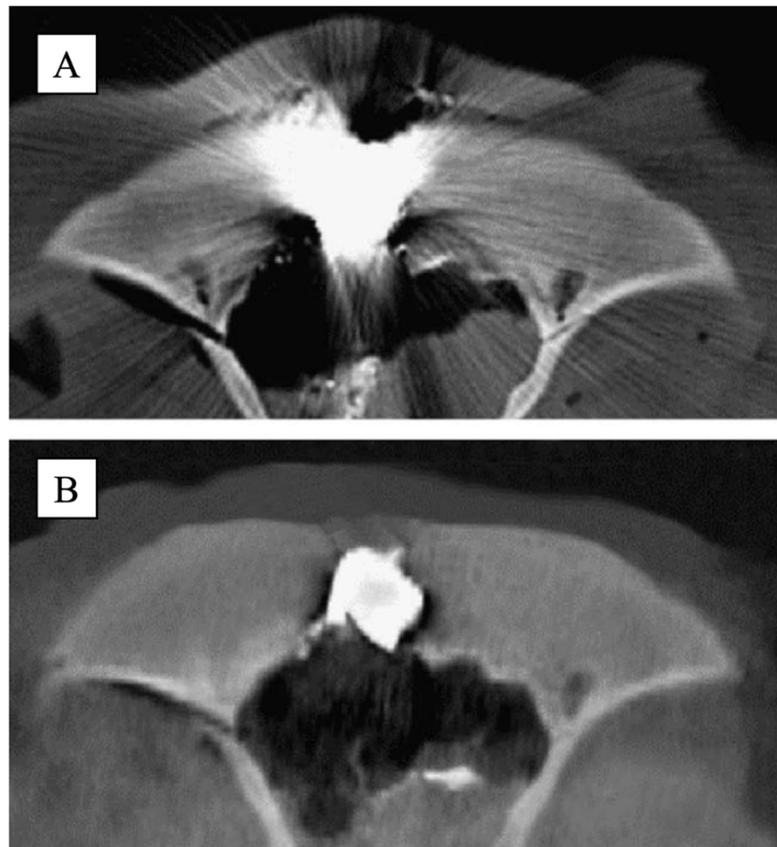


Figure 43 : Imagerie en coupe horizontale d'un projectile métallique dans la proximité immédiate de structures osseuses avec le scanner (A) et le CBCT (B) (79).

4.3.2.3 Limites

La principale limite c'est la difficulté d'accès à l'appareillage. En effet, rares sont les instituts de médecine légale ayant un accès total à ce genre de système. Malgré la démocratisation des systèmes dans la pratique clinique quotidienne de la chirurgie-dentaire (bien qu'il soit encore rare de trouver un cabinet dentaire équipé, hors associations de plusieurs praticiens) et l'aspect de plus en plus compact des méthodes d'imagerie 3D, le CBCT reste un appareil onéreux, peu accessible dans des structures publiques. Il y a donc une réelle hétérogénéité dans l'accès à ce genre d'appareillage. Les hôpitaux en étant dotés accordent une priorité d'utilisation pour les patients vivants et ainsi l'odontologie médico-légale est contrainte de passer au second plan et de reposer sur des méthodes qui ont prouvé leur fiabilité et leur efficacité sans évolution.

4.3.2.4 Cas Pratique

Une série d'images de coupes axiales d'un scanner *ante-mortem* des sinus para-nasaux sont collectées dans le cadre d'un processus d'identification odontologique (Figure 44) (89).

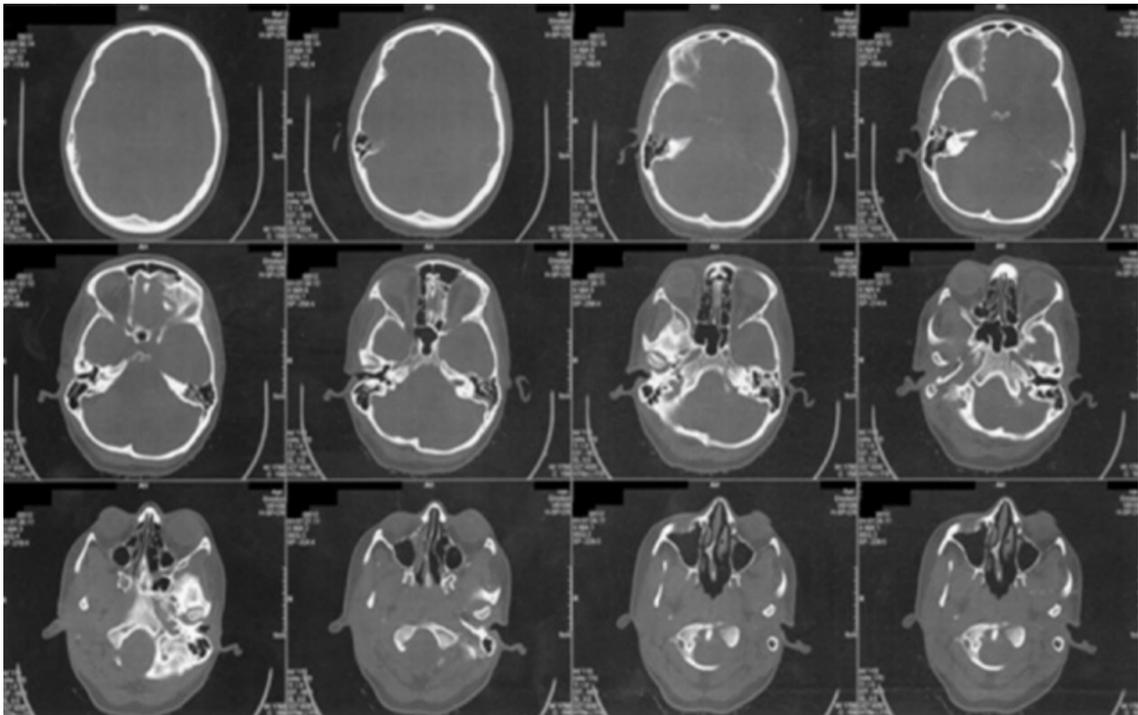


Figure 44 : Séries de coupes axiales d'un scanner des sinus para-nasaux *ante-mortem* de la présumée victime (2012) (89).

Une première radiographie *post-mortem* du crâne de la victime en incidence de Caldwell est réalisée (Figure 45). On remarque des sinus frontaux de petites dimensions bilatéralement, avec une déviation du septum inter-sinusal médian à droite et un lobe sinusal gauche avec une expansion latérale plus importante que le lobe controlatéral. Ces particularités sont retrouvables sur le scanner *ante-mortem*.



Figure 45 : Incidence de Caldwell post-mortem du sinus frontal de la victime (89).

Les similarités anatomiques entre les images *ante-mortem* et *post-mortem* conduisent les odontologistes à approfondir la comparaison à l'aide d'un CBCT *post-mortem*. Les fichiers *Dicom* des images du CBCT *post-mortem* et du scanner *ante-mortem* sont importés dans le logiciel Osirix® *DICOM Viewer* et comparés (Figure 46).

Dans ce cas, les données anatomiques présentant le plus grand degré de corrélation sont l'expansion latérale du lobe sinusale gauche, la dimension antéro-postérieure et la position des septa médian et accessoire. L'identification positive de la victime a été formulée.

Ce cas clinique démontre la nécessité de composer avec les données *ante-mortem* qui sont à notre disposition et de l'importance de la conservation du dossier médical. On est parfois amené à comparer des données radiographiques hétéroclites (RA-Panoramique, Panoramique-CBCT/Scanner et *vice versa*). Ces discordances sont dépendantes du plateau technique à la disposition des investigateurs et du contenu du dossier dentaires *ante-mortem*.

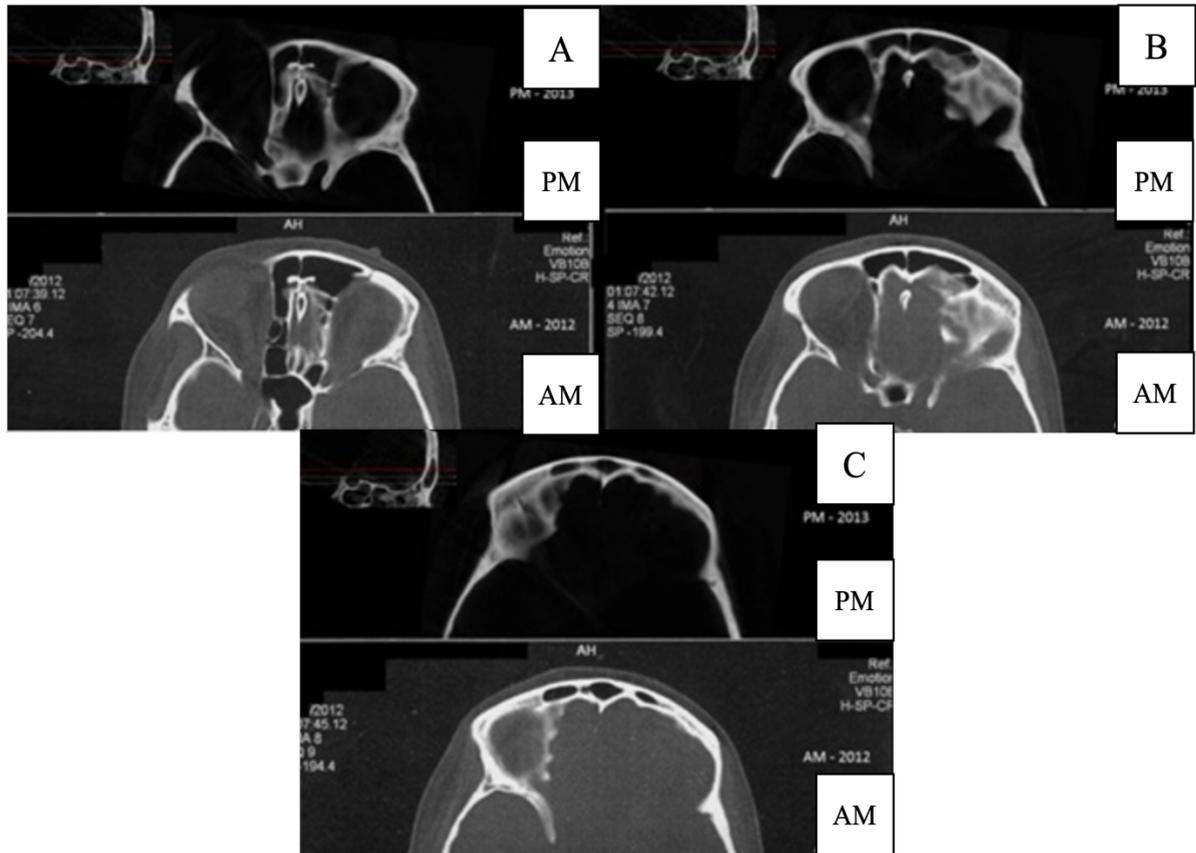


Figure 46 : Comparaison du scanner *ante-mortem* (AM) et du CBCT *post-mortem* (PM) au niveau de la section inférieure (A), médiane (B) et supérieure (C) des sinus frontaux de la victime (89).

4.3.2.5 Récapitulatif (Tableau 14)

Le CBCT est un acteur majeur de la pratique clinique dentaire, devenu quasi systématique sur certaines indications. Sa popularité croissante en pratique clinique va de pair avec sa présence dans les dossiers dentaires *ante-mortem* de cette dernière décennie. La multitude de champs disponible en CBCT permet d'observer des structures anatomiques allant du très petit (comme l'anatomie canalaire endodontique) aux volumes importants (comme les sinus para-nasaux) et ainsi de proposer des techniques radiographiques comparatives ou estimatives complémentaires ou alternatives aux techniques 2D, à la manière du scanner, c'est-à-dire sur des structures non odonto-centrées environnantes ou des structures odontologiques avec une plus grande précision que le scanner.

Tableau 14 : Tableau récapitulatif des méthodes, indications, avantages, inconvénients et limites du CBCT en identification odontologique [production personnelle].

<p>Méthodes comparatives</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Formule dentaire radiographique • Anatomie et topographie dentaire et parodontale • Anatomie endodontique • Pathologies dento-alvéolaires • Pathologies osseuses, articulaires, sinusiennes • Thérapeutiques de dentisterie restauratrices et endodontiques • Thérapeutiques prothétiques, implantaires et chirurgicales • Anatomie comparative des sinus para-nasaux
<p>Méthodes estimatives de l'âge</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Technique du ratio volume pulpaire/volume dentaire
<p>Méthodes estimatives du sexe</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Morphométrie des sinus maxillaires • Morphométrie des sinus frontaux • Morphométrie ramique et mandibulaire • Volume dentaire
<p>Indications</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identification odontologique de corps isolés • Décomposition avancée • Squelettisation • Fragmentation • Altérations : carbonisation
<p>Avantages</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vision globale des arcades dentaires et de tout le massif facial • Avantages intrinsèques de la 3D sur la 2D • Très petit à très grands champs : précision endodontique à macro-squelettique • Possibilité de portabilité des plus petits appareils
<p>Inconvénients et limites</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Artefacts métalliques • Artefacts de corps étrangers ou de thérapeutiques • Accessibilité • Coût • Appareillage de volume important, rarement nomades • Application et logistique complexe en MDVI • Techniques estimatives peu appliquées sur le terrain

4.4 Comparaison des techniques

4.4.1 Facteurs influents

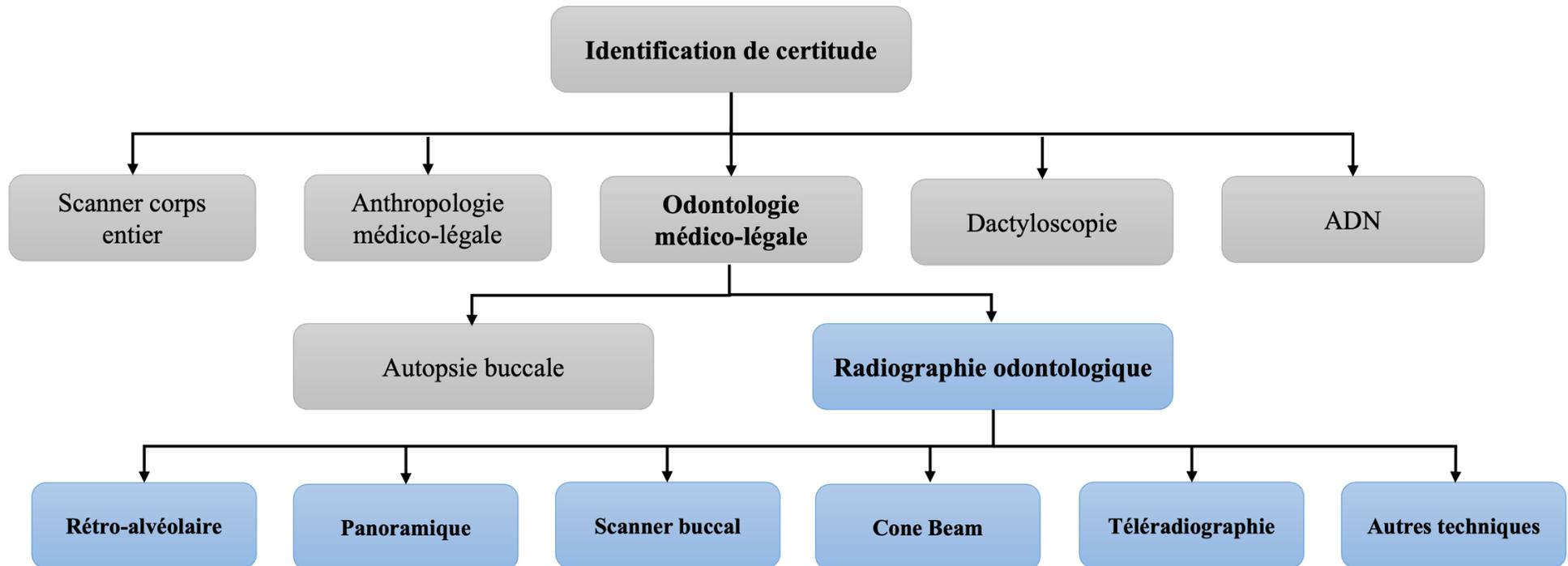


Figure 47 : L'identification médico-légale de certitude en résumé (production personnelle).

Pour arriver à l'élaboration d'arbres décisionnels cohérents avec les techniques et méthodes vues précédemment, il est nécessaire de prendre en compte de multiples facteurs.

L'identification dentaire radiologique des personnes décédées (Figure 47), bien que très méthodologique et encadrée, n'est pas un processus unique, stéréotypé mais une pratique au cas par cas qui se doit de prendre en compte différents principes :

- La **simplicité** : la méthode la plus simple est souvent la méthode idéale.
- La **rapidité** : il ne s'agit pas ici de négliger mais plutôt de garder à l'esprit des considérations humaines et éthiques. Il n'y a pas qu'un corps mais une personne humaine avec une histoire et des proches. L'application des principes éthique du respect de la personne humaine, de son corps, de ses croyances et ses volontés sont primordiaux et doivent être gardés à l'esprit par l'odontologiste.
- La **faisabilité** logistique : plus l'accessibilité de la technique est restreinte, plus l'identification s'en retrouvera graduellement compliquée.
- L'existence de **données ante-mortem exploitables**.
- Les limites des techniques radiographiques par rapport à un gold standard : l'autopsie oro-faciale et l'odontogramme.
- L'**aspect corporel** de l'individu : s'il s'agit d'un nouveau-né, d'un enfant, d'un adolescent ou d'un adulte.
- L'**état corporel** de l'individu : la prise en compte du *rigor mortis*, de l'état de décomposition avancé ou non, de la squelettisation, des possibles altérations physiques comme les traumatismes et les altérations liées aux milieux ou aux circonstances du décès (carbonisation, noyade).
- Le **terrain** : corps isolé ou catastrophe de masse.

Afin de comparer les différentes techniques radiographiques en pratique, il convient de dissocier l'identification ponctuelle d'une ou plusieurs personnes avec ou sans présomption d'identité. Bien que l'odontologie médico-légale apporte un soutien primordial dans le processus d'identification, elle n'est pas une discipline isolée mais une importante composante d'un travail pluridisciplinaire. L'ensemble de ces prises de décisions et leurs résultats sont donc à nuancer et à contextualiser avec les résultats et conclusions obtenus par d'autres disciplines partenaires mais aussi avec les données recueillies par l'observation clinique, l'autopsie buccale et l'odontogramme.

4.4.2 Cas de l'identification odontologique *post-mortem* avec présomption d'identité

Il s'agit par exemple de la découverte d'un corps à son domicile. On a ici une présomption sur l'identité de la personne. Il y a un recours à des méthodes radiologiques dentaire d'identification comparative (Figure 48). Le choix de toute technique est motivé par l'observation et l'analyse clinique de l'odontologiste, via les données cliniques *post-mortem* qu'il a recueilli, il est en mesure de choisir la ou les techniques d'imagerie la ou les plus adaptées à la situation.

Ainsi, la rétro-alvéolaire est motivée par une recherche spécifique et guidée, de première intention, le panoramique dentaire par un besoin de vision globale de première intention. On a recours à des alternatives de seconde intention comme le scanner ou le CBCT lors d'insuffisance des données radiologiques *post-mortem* de première intention ou lors de la recherche d'indices odonto-stomatologiques spécifiques, peu ou pas visualisables sur des techniques de première intention. La téléradiographie fait office d'exceptions détaillées 5.1.1 de ce manuscrit, en effet, elle est une technique de première intention se substituant à la RA et au panoramique dans le cas de défunt enfant ou adolescent.

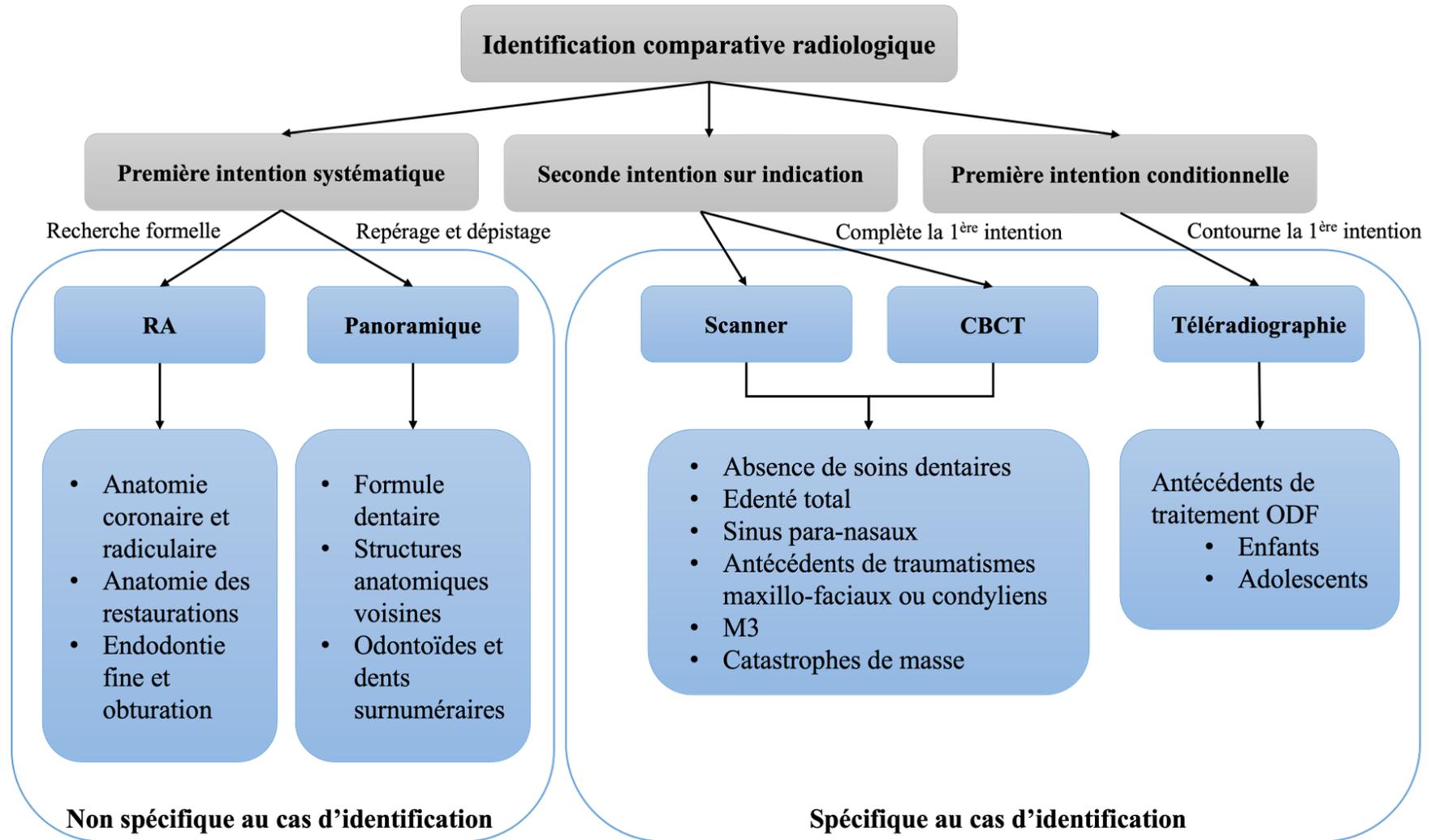


Figure 48 : Arbre décisionnel du choix de la technique d'imagerie en identification odontologique comparative et les différents indices odonto-stomatologiques relevables (production personnelle).

4.4.3 Cas de l'identification odontologique *post-mortem* sans présomption d'identité

Il s'agit par exemple de la découverte d'un corps isolé sans moyens d'obtenir une présomption d'identité par absence d'effets personnels. On considère que les étapes médico-légales de l'autopsie et de l'odontogramme ont été réalisées et qu'il n'a pas été possible de déterminer l'identité de l'individu par l'ADN ou les empreintes digitales. Il y a recours à des méthodes radiologiques dentaires d'identification estimative (Figure 49).

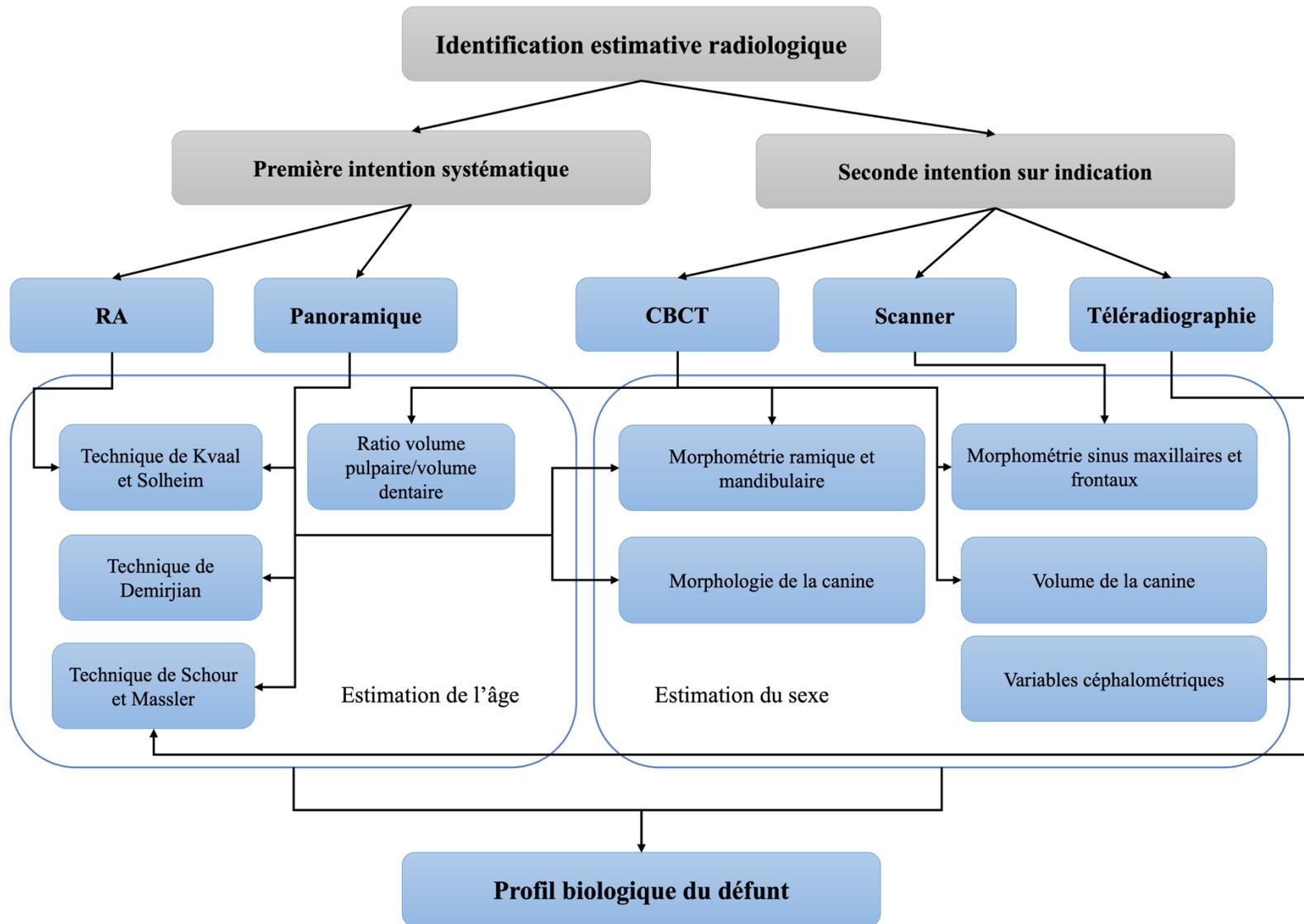


Figure 49 : Arbre décisionnel du choix de la technique d'imagerie en identification odontologique estimative et les différentes méthodes d'estimation de l'âge et du sexe du défunt (production personnelle).

5 Proposition et perspectives

5.1 Techniques rares et spécifiques

La radiographie rétro-alvéolaire, le panoramique dentaire, le scanner et le CBCT sont les principales techniques radiographiques en pratique clinique mais également en identification odontologique. Les autres techniques vues précédemment, à savoir le mordue occlusal, la téléradiographie et l'IRM, sont des techniques rares ou réservées à des disciplines et indications cliniques spécifiques. Il en va de même pour l'identification odontologique où rares sont les cas d'utilisations de ces méthodes. La rareté de ces techniques à la fois dans la littérature et dans l'identification de terrain s'explique :

- Pour le mordue occlusal par l'intérêt radiographique de cette incidence qui est très limité. Il est certes possible de facilement identifier des dents incluses, des malpositions dentaires ou certaines lésions osseuses mais il est possible d'apprécier ces éléments sur des radiographies plus simples ou plus englobantes comme le panoramique et le CBCT.
- Pour la téléradiographie et l'IRM par les limites d'accessibilité au matériel, qui sont dépendants de l'IML ou de l'infrastructure hospitalière, ainsi que le coût important de ce genre de pratique qui sont aujourd'hui privilégiées sur le sujet vivant. Ces techniques nécessitent également un plus grand degré de connaissances de l'odontologiste car plus éloignées de la pratique généraliste de la chirurgie dentaire. De plus, pour le cas de IRM, la grande force de la technique repose sur l'évaluation radiographique des tissus mous, mais les structures anatomiques dures osseuses et dentaires sont les principales préoccupations des investigateurs pour l'identification des personnes.

Dans le cas d'identification estimative, les techniques « courantes » (de la RA au CBCT) seront souvent privilégiées devant celles-ci. Il est cependant possible d'être confronté à ce type de radiographie, dans le cas d'identification comparative, lors de la collecte des données du dossier dentaire *ante-mortem*. Il s'avère alors indispensable de développer des techniques d'analyse.

5.1.1 Téléradiographie

Le principal intérêt de la téléradiographie, qui explique sa popularité en orthopédie dento-faciale, c'est la possibilité de réaliser une analyse céphalométrique avec des mesures précises de différents paramètres et repères dento-faciaux. La téléradiographie est une méthode de choix dans l'identification comparative des enfants et adolescents, qui permet à l'investigateur d'outrepasser les méthodes de première intention comme la rétro-alvéolaire ou le panoramique dentaire pour se focaliser directement sur la collecte d'un dossier *ante-mortem* auprès de l'orthodontiste traitant

du supposé défunt. De plus, les appareillages orthodontiques résistent à la putréfaction et la carbonisation, ce qui leur permet d'être fréquemment collectés sur les restes.

Il est également possible d'appliquer ces analyses en identification estimative.

La détermination du sexe

Le dimorphisme sexuel de l'individu peut être évalué par le recueil de divers repères céphalométriques sur téléradiographie de profil (90,91). Les paramètres céphalométriques les plus discriminants concernent la glabelle (la saillie la plus antérieure entre les arcades sourcilières dans le plan sagittal médian), le processus mastoïdien et le sinus frontal.

La détermination de l'âge

L'estimation de l'âge de l'individu assistée par la téléradiographie utilise les bases de l'estimation de l'âge par la technique de Schour et Massler sur le processus de dentition de l'enfant, l'adolescent et le jeune adulte. Cette méthode est initialement utilisée sur des radiographies panoramiques (43) mais il est possible de présenter une même estimation sur des téléradiographies de profil d'un enfant, d'un adolescent ou d'un jeune adulte suivi pour un traitement orthodontique. La téléradiographie est une technique de première intention dépendante de l'âge. En effet, on y accorde un intérêt spécifique lorsqu'il s'agit d'identifier un enfant ou un adolescent dont le port d'un appareil orthodontique est avéré, lorsque des bagues ou des appareillages de contentions sont retrouvés sur le cadavre (car ces systèmes résistent à la putréfaction) ou supposé.

5.1.2 IRM

La principale qualité de l'IRM c'est sa capacité à mettre en évidence des tissus mous avec précision. Bien qu'un autre des principaux atouts de l'IRM sur le vivant soit aussi l'absence d'émission de radiations ionisantes, cet intérêt est éclipsé dans le cadre de l'identification *post-mortem* car seule la protection individuelle des opérateurs est pertinente. On est en mesure de délivrer à l'individu décédé la quantité de clichés souhaités, aux doses idéales.

Il est possible de développer une méthode d'estimation de l'âge de l'individu par l'étude du stade de minéralisation de la 3^e molaire, c'est-à-dire la transposition de la méthode radiographique panoramique de Demirjian à l'IRM (Figure 50 et 51). Le principal avantage par rapport à la technique classique de Demirjian c'est la possibilité de prendre en compte l'inclinaison dentaire sur une IRM. En effet, la technique radiographique panoramique évalue le stade de minéralisation selon une projection tandis que l'IRM évalue ce stade selon une section ce qui permet d'évaluer les proportions de la dent de façon plus précise qu'avec un panoramique (92,93). L'évaluation du stade par l'observateur se révèle plus facile sur l'IRM que sur un panoramique, surtout sur des stades de développement précoces. Plus avancé est le stade de minéralisation, plus l'estimation du stade est considérée comme complexe. Elle se révèle cependant plus coûteuse qu'avec une radiographie panoramique.

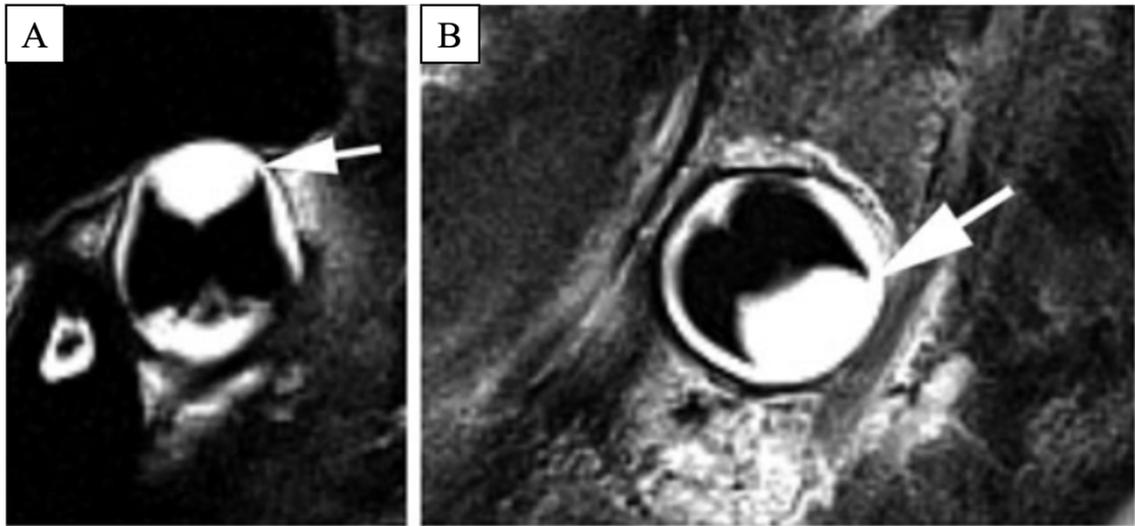


Figure 50 : IRM en coupe sagittale de la 3^e molaire maxillaire (A) et mandibulaire (B) au stade D de Demirjian. La flèche blanche indiquant la racine choisie pour la prise de décision (92).

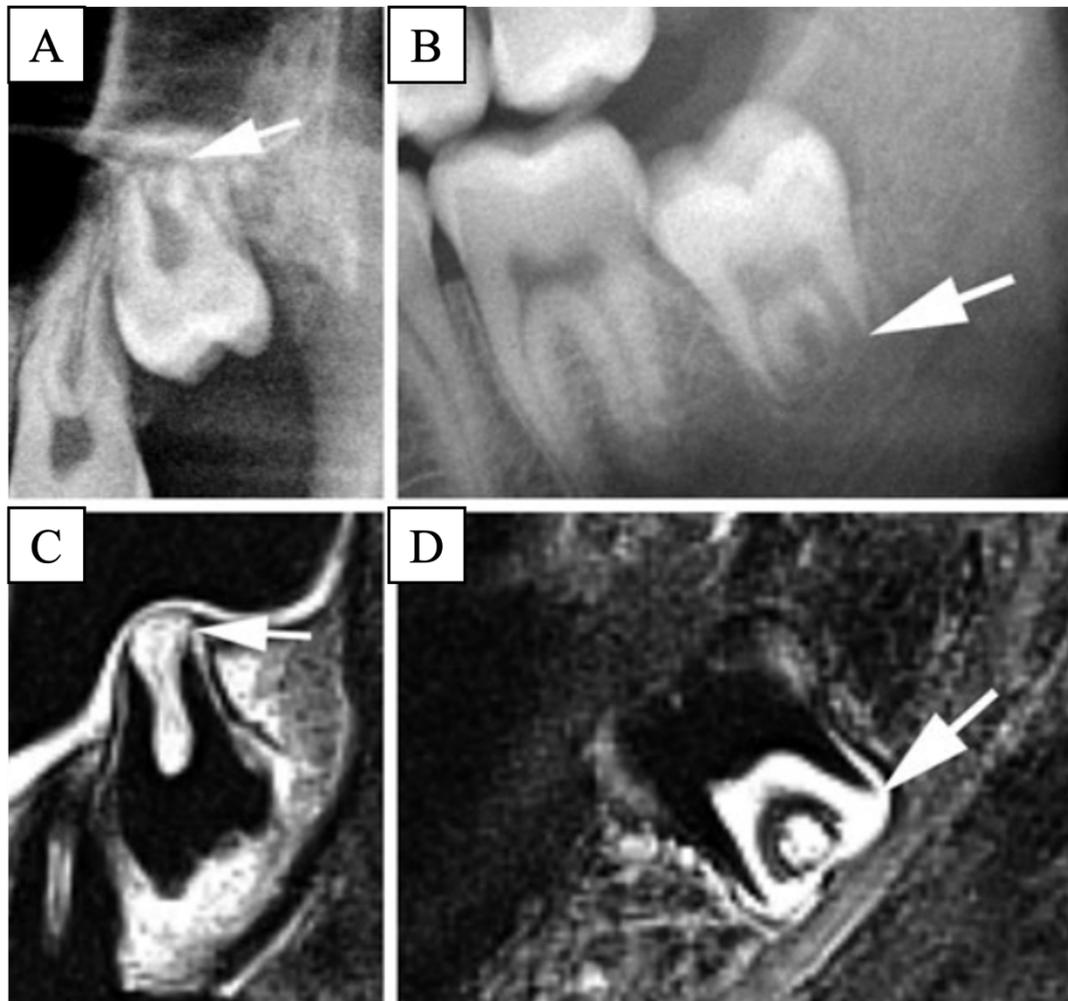


Figure 51 : Comparaison de radiographie panoramique des 3^e molaires maxillaire (A) et mandibulaire (B) et de IRM en coupe sagittale des mêmes 3^e molaires maxillaire (C) et mandibulaire (D) au stade F de Demirjian. La flèche blanche indiquant la racine choisie pour la prise de décision (92).

L'IRM pourrait à l'avenir être indiquée dans l'estimation de l'âge d'un individu, notamment pour la détermination de l'âge légal ou la minorité de la victime (ou du suspect sur sujet vivant), dans le cas de figure où la zone radiographique d'intérêt n'est pas exploitable sur une radiographie panoramique à cause d'artefacts, de distorsions ou liée à la superposition de structures anatomiques voisines comme le nerf alvéolaire inférieur. Le panorama d'autres techniques et solutions à la disposition de l'odontologiste pour l'identification rend très rare ce cas de figure. Il est cependant nécessaire de garder à l'esprit que c'est par le regroupement d'une multitude de techniques odontologiques et non-odontologiques qu'il sera possible d'estimer l'âge chronologique d'un individu et ainsi établir un profil biologique complet.

5.2 Perspectives

Le référentiel qui fait office de *Gold Standard* en matière d'identification odontologique c'est encore aujourd'hui le dossier dentaire et l'odontogramme réalisés lors de l'autopsie de la cavité orale. De la même manière que la radiographie est désormais un pilier de la pratique clinique quotidienne du chirurgien-dentiste, les rapides progrès dans le domaine de l'imagerie ces dernières années font des techniques radiographiques à disposition de l'odontologiste un puissant outil n'ayant pas pour vocation de se substituer à l'autopsie et l'odontogramme mais de les compléter.

5.2.1 Informatisation et systématisation

5.2.1.1 Systèmes (94,95)

L'intelligence artificielle (IA) est définie comme une branche de l'ingénierie et de l'informatique s'intéressant à concevoir des ordinateurs et programmes capables d'imiter l'humain en présentant un comportement perçu comme intelligent car rationnel en raisonnement et en action. Les appareils dotés d'IA sont capables de se livrer à des actions, activités et processus de pensée *humans-like* comme l'apprentissage, le raisonnement et l'auto-correction.

L'IA fait l'objet d'application dans de nombreux domaines, notamment le domaine médical, où elle a une vocation épidémiologique, prédictive, diagnostique, thérapeutique, éducative ou liée à la recherche scientifique et l'enseignement. A travers différents systèmes :

- *Clinical Decision and Support System* (CDSS) qui sont des réseaux formés entre une base de données de connaissances médicales dynamique et un ensemble d'algorithmes issu de la pratique de la médecine basée sur les preuves (*evidence-based medicine*) mis en œuvre à travers des modules de logique médicale dans le but d'assister les professionnels de santé dans leur démarche de travail afin de les rendre plus efficaces, rapides et moins onéreuses.

- **Artificial Neural Network** (ANN) qui sont des modèles de calculs mathématiques qui pastichent le fonctionnement du cerveau humain. Ils sont composés de plusieurs éléments de traitement de données interconnectés et dynamiques. Les ANN sont utilisées dans le domaine de la dentisterie comme solution pour les classifications, la prédiction, l'étude de facteurs de risque et en radiologie pour le *matching* d'images, les analyses céphalométriques ou encore la détection des lésions carieuses.
- **Convolutional Neural Network** (CNN) : Le CNN, qui tire son nom des opérations mathématiques linéaires entre un réseau de matrices appelées convolution, est l'un des ANN les plus populaires, il est spécifiquement utilisé pour la reconnaissance, le traitement d'images et de données de pixels ou encore la classification de grande quantité de données. Son IA lui permet d'utiliser des capacités d'apprentissage approfondi ou « *deep-learning* » pour réaliser des tâches à l'aide de systèmes de reconnaissance d'images et de vidéos, notamment analyser et détecter des patterns (Figure 52) (96).
- Réalité augmentée (AR) et Réalité Virtuelle (VR) : principalement pour l'éducation thérapeutique des patients ou la planification des plans de traitement.

5.2.1.2 Convolutional Neural Network et odontologie médico-légale

En identification odontologique, le CNN est une perspective prometteuse, dans le but de faciliter, d'automatiser et systématiser la tâche de l'odontologiste et ainsi d'améliorer le « *work-flow* » du processus d'identification, notamment lors des cas de catastrophes de masse où le volume de données à traiter est parfois titanesque. Tout comme la radiographie, il ne s'agit pas de venir se substituer à l'expérience et le savoir de l'odontologiste médico-légal mais de venir la compléter.

En identification comparative

La littérature rapporte notamment l'utilisation du CNN en identification comparative afin de comparer des panoramiques dentaires *ante-mortem* et *post-mortem* (Figure 53). Historiquement, bien qu'il existe des logiciels d'aide comme DVI Sys[®] (*Disaster Victim Identification System International*) ou encore Plass Data[®], la réconciliation des données *ante-mortem* et *post-mortem* se fait manuellement. Il est cependant possible d'automatiser une partie du processus via l'utilisation de Systèmes d'Identification Dentaire Automatisés (ADIS). Le CNN, par ses qualités d'analyses d'images radiographiques complexes de manière efficiente, rapide et précise possède la possibilité de contribuer à la comparaison d'imagerie radiographique à la manière d'un spécialiste en odontologie et en radiologie.

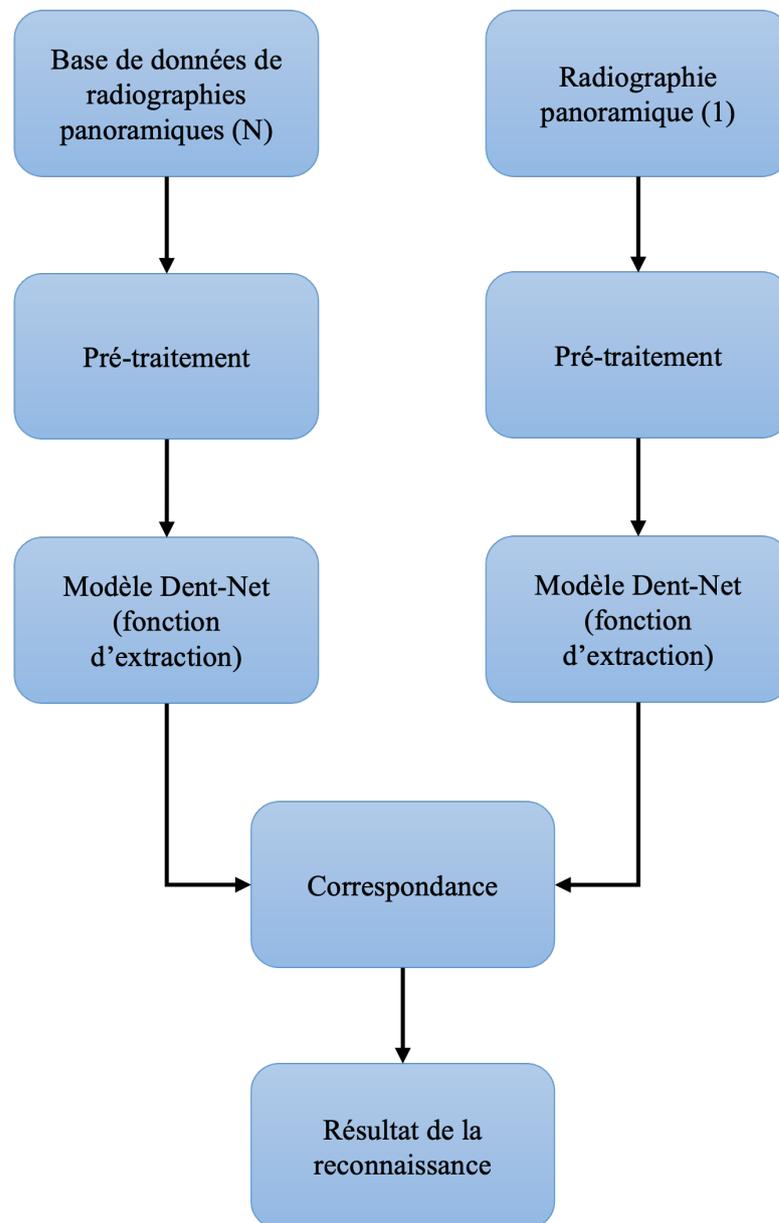


Figure 52 : Architecture du système d'identification automatisée DENT-net développé à l'aide du CNN, adapté de Fan et al. (97).

L'extraction des données radiographiques par le CNN dure en moyenne **10 millisecondes** tandis que le « *matching* » entre une données d'imageries *ante-mortem* et *post-mortem* s'opère en l'espace de **30 millisecondes** (97). Il pourrait s'agir d'un véritable gain de temps pour la phase de réconciliation de données. Les principaux challenges dans l'analyse d'images sont les superpositions dentaires, les modifications thérapeutiques ou pathologiques, l'angulation des images ou leur qualité globale (flou, distorsion, artefacts métalliques). Le CNN possède une grande précision d'identification même en étant confronté à ce type de problèmes, à des images de différentes angulations, des radiographiques très anciennes ou de grands changements dentaires entre les données *ante-mortem* et *post-mortem*.

Dent-Net

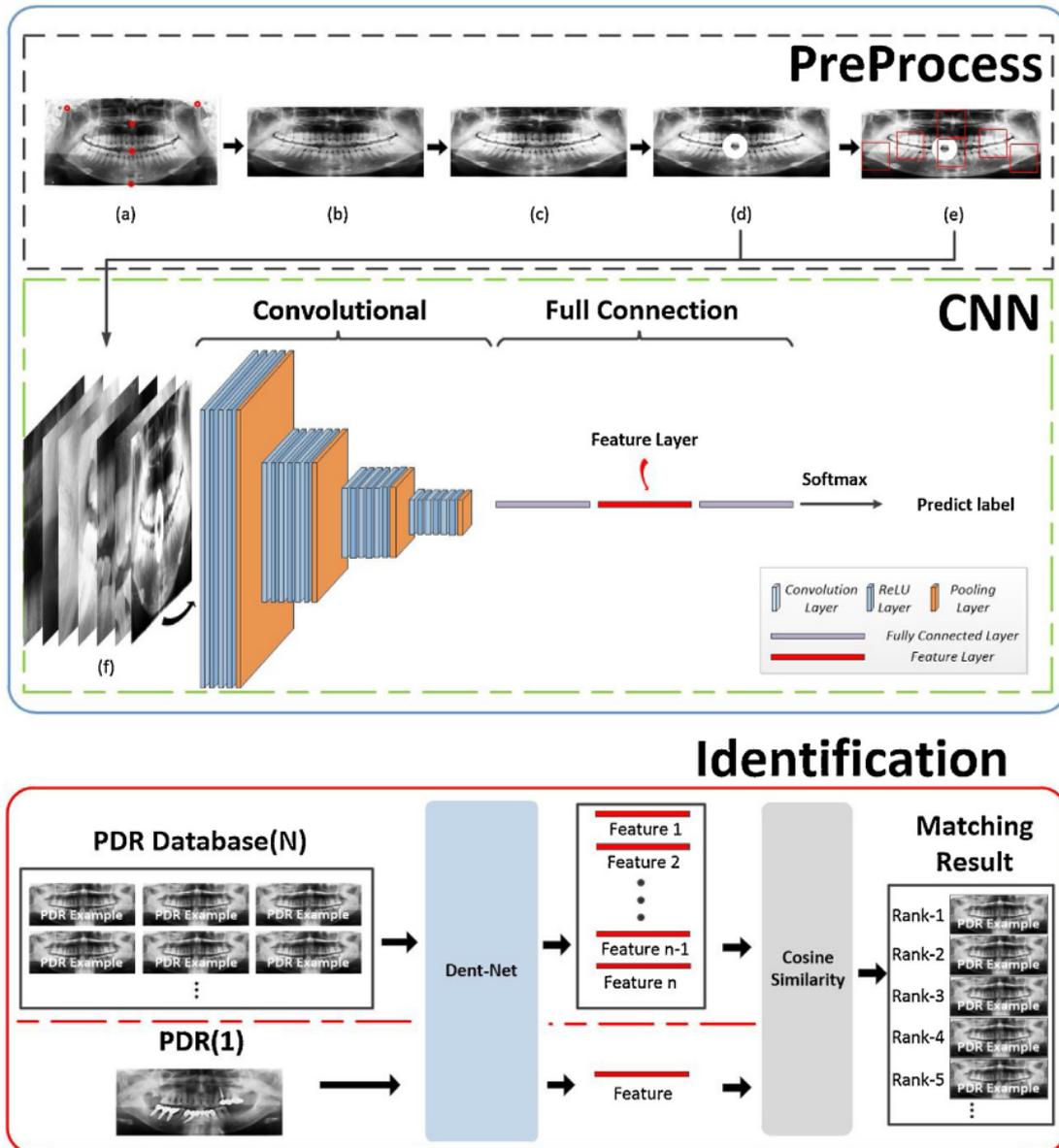


Figure 53 : Schématisation de l'infrastructure logicielle du CNN pour l'identification comparative de radiographies panoramiques (97).

En identification estimative

Dans le cas de l'estimation de l'âge, le CNN a déjà été utilisé avec succès sur des images de radiographie de la main et du poignet pour la détermination automatisée de l'âge osseux (98,99). Au niveau odontologique, il est possible d'entraîner le CNN à évaluer les stades de développement de la 3^e molaire mandibulaire avec une grande rapidité, généralement en moins de 3 secondes (100).

Le CNN serait capable d'isoler une région anatomique d'intérêt à partir de l'image radiographique de celle-ci et d'établir avec une précision variable, mais suffisamment proche de l'évaluation d'un radiologue ou d'un odontologiste, le stade de développement de la 3^e molaire mandibulaire, qui est un indice odonto-stomatologique de référence pour l'estimation de l'âge de l'individu. La région d'intérêt, celle de la 3^e molaire mandibulaire, est localisée par le CNN puis fait l'objet de multiples segmentations afin d'isoler la dent de son environnement anatomique (Figure 54) et ensuite classifier les images selon leurs pattern de formes et ainsi arriver à une estimation du stade de développement en accord avec les stades décrit initialement par Demirjian, Goldstein et Tanner (Figure 55) (42,101).

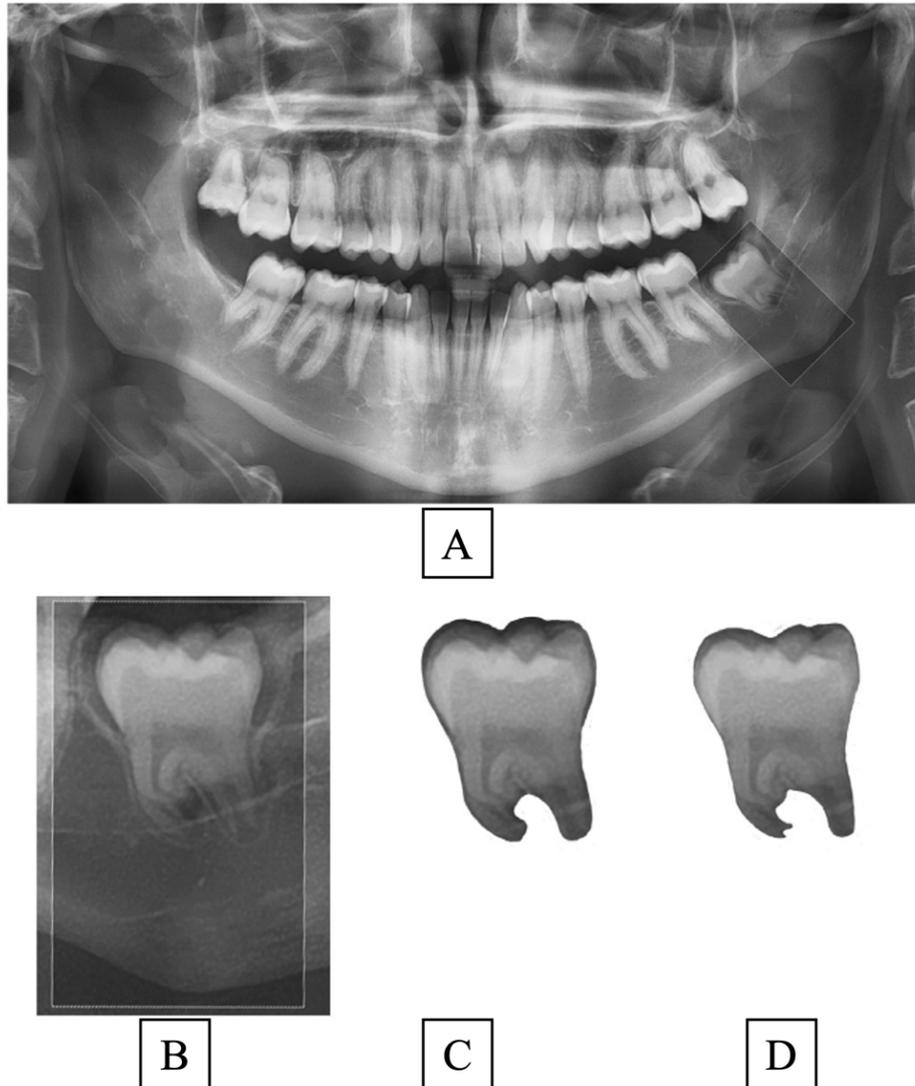


Figure 54 : Types de segmentations opérées par le CNN. On a la segmentation en boîte englobante sur panoramique (A), l'ébauche de segmentation de la zone d'intérêt (B), l'ébauche de segmentation de la dent (C) et la segmentation complète de la dent (D) (101).

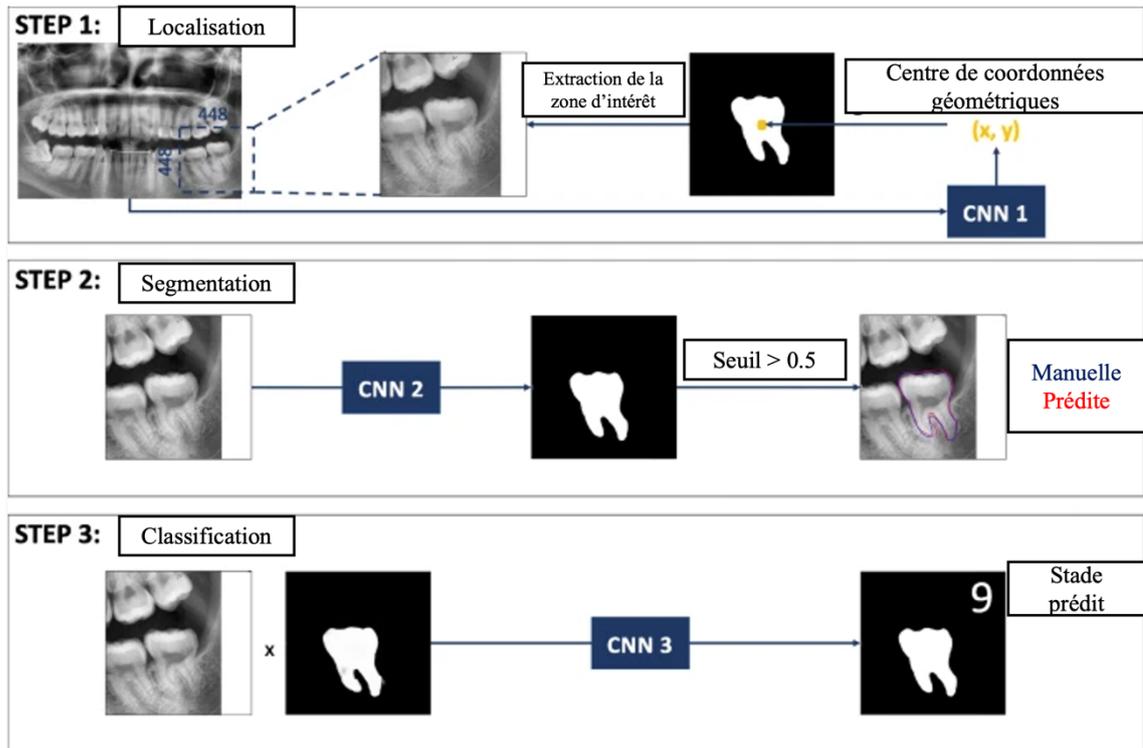


Figure 55 : Schématisation de la procédure automatisée d'estimation de l'âge via les stades de développements de la 3^e molaire mandibulaire effectuée par le CNN, adaptée de Banar et al. (100).

Dans l'estimation du sexe, le CNN peut être entraîné à analyser une grande base de données d'images de radiographies panoramiques et relever sur ces images les patterns radiographiques lui permettant d'estimer le sexe de l'individu, cette méthode reste cependant à ses premiers pas dans le domaine (102).

Les ANN et plus spécifiquement le CNN sont en passe de devenir des acteurs majeurs dans l'évolution des processus d'identification odontologique avec dans l'avenir des applications à l'imagerie 2D mais aussi à l'imagerie 3D grâce au CBCT. Ils sont voués à gagner en précision et rapidité grâce à l'existence du concept de « *machine-learning* ».

La décision finale relève de la prérogative de l'expert en odontologie médico-légale. Tout système doit être systématiquement accompagné d'un contrôle visuel et d'un examen clinique minutieux. Les performances et capacités du CNN sont à nuancer car il convient de prendre en compte de nombreux facteurs odonto-stomatologiques. L'image seule est insuffisante pour conclure à une identification de certitude.

5.2.2 Modélisation tridimensionnelle par autopsie virtuelle

La tâche de l'odontologiste médico-légal, et plus spécifiquement dans les cas de MDVI, se révèle être un processus long et fastidieux. L'essor des nouvelles technologies et de l'informatique ouvre de nouvelles possibilités dans la systématisation et l'automatisation des techniques et des protocoles.

Les quantités de traitements dentaires invasifs étant sur le déclin en dentisterie moderne, il est nécessaire de trouver des moyens alternatifs d'identification des personnes qui ne se reposent pas seulement sur la comparaison des traitements et pathologies dentaires. Les techniques radiologiques sont des techniques non invasives. Elles n'occasionnent pas de destruction ou dommages sur les restes humains.

La baisse globale d'autopsies médicales hospitalières (103–105) a fait émerger une nouvelle technique qui met en application les techniques radiographiques modernes. Le scanner, le CBCT et l'IRM sont aujourd'hui perçus comme méthodes complémentaires ou parfois alternatives comme moyen de détermination des causes du décès et d'identification des personnes. C'est ainsi qu'est développée l'autopsie par l'imagerie. « L'autopsie virtuelle » est également un outil d'éducation et de communication pluridisciplinaire.

L'institut de médecine légale de l'université de Berne, en Suisse, sous le couvert d'un projet nommé *Virtopsy*® pour *Virtual Autopsy*, a développé un programme exploitant notamment la tomographie volumique en coupes, l'IRM, la spectroscopie par résonance magnétique et l'angiographie afin de fournir une reconstruction tridimensionnelle, exsanguine, mini-invasive, objective, indépendante de l'observateur et reproductible, exploitable à l'avenir en médecine légale (106).

On rapporte comme différents intérêts : l'aspect non invasif, n'occasionnant pas de dommages corporels et permettant la conservation des preuves dans leur statut originel, le respect des considérations bioéthique, la systématisation, la reproductibilité et la fiabilité, la possibilité de déterminer la localisation des corps étrangers comme les projectiles liés aux accidents, aux traumatismes ou aux blessures par balles, en phase pré-autopsique afin de faciliter l'exploration tissulaire (107,108). Mais également la possibilité de discriminer radiographiquement différents types de restaurations dentaires en exploitant les différences de densité radiologique (en unité Hounsfield HU) des matériaux les plus couramment utilisés en dentisterie restauratrice adhésive afin d'évaluer les écarts entre chacun (109).

Bien qu'il soit parfois difficile d'évaluer en reconstruction 3D les restaurations par amalgames, en lien avec leur forte radio-opacité liée à la l'importante masse de mercure les composant, et les restaurations en céramique, en lien avec leurs proximités avec la radiodensité de la dentine, cette évaluation reste pertinente même dans des cas particuliers comme celui de la carbonisation, où il a été déterminé que les restaurations dentaires conservaient leurs intégrités anatomiques jusqu'à 600°C, ce qui permet des reconstruction 3D dans la plupart des cas de victimes carbonisées.

Au-delà de cette température, l'autopsie virtuelle permettrait d'observer les structures dentaires et restauratrice fragilisées sans risque de les endommager par la manipulation (110). L'intérêt principal est ici de dégager la nature du matériau ainsi que sa forme et sa topographie anatomique (occlusale, distale, mésiale, palatine ou vestibulaire) afin de pouvoir comparer avec des dossiers dentaires *ante-mortem*.

La technique présente cependant ses limites comme la nécessité d'appareillage adapté ou encore la formation des investigateurs pour l'utilisation des logiciels qui est initialement chronophage.

Bien que les applications de l'autopsie virtuelle soient principalement anthropologiques, il existe quelques perspectives en identification odontologique.

Dans l'ensemble, les médecins légistes d'accordent sur le fait que les examens complémentaires doivent garder ce caractère de complémentarité et venir en appui de l'observation clinique et non s'y substituer. De plus, le facteur « temps » nécessite des actions rapides peu compatibles avec l'application de ces technologies coûteuses et complexes.

Conclusion

Ce travail de thèse propose de faire état de l'ensemble des techniques radiographiques maxillo-faciales à la disposition de l'odontologue médico-légal dans le cadre de l'identification des personnes décédées. Ce manuscrit répond à la problématique : « quelle(s) technique(s) d'imagerie pour quelle(s) situation(s) en odontologie médico-légale ? ». Au terme de ce travail, il apparaît évident qu'il est difficile de dégager une technique pour une situation. En effet il existe une multitude de situations et d'évènements qui font que l'identification dentaire d'un individu à l'autre est fondamentalement hétéroclite autant sur le contexte, le terrain, les circonstances du décès, l'état corporel, les techniques radiographiques à disposition ou le contenu du dossier dentaire *ante-mortem* s'il existe. Il s'agit donc de répondre à une exigence de flexibilité vis-à-vis de la méthode radiographique à employer. L'odontologue garde à l'esprit l'ensemble de ces paramètres afin d'assister au mieux le processus d'identification du défunt.

A l'instar de la pratique clinique, **la radiographie n'a pas pour vocation de se substituer à l'observation clinique, l'autopsie buccale, l'odontogramme et les compétences et expertises des investigateurs mais plutôt d'être un outil pertinent venant s'ajouter à l'arsenal de techniques à disposition des experts en odontologie médico-légale.**

Par ailleurs, l'identification radiographique odontologique n'est pas *stricto sensu* limitées aux dents et aux secteurs alvéolo-dentaires. Il a été démontré que d'autres structures maxillo-faciales comme les sinus para-nasaux et la mandibule présentent un haut degré de pertinence. Il est d'autant plus important de développer ces méthodes alternatives afin de faciliter les processus identifications complexes (multiples corps, fragmentations et altérations importantes) ainsi que de prévoir le manque de données dentaires *ante-mortem* à l'ère de la dentisterie restauratrice ultra-conservatrice, mini-invasive et du gradient thérapeutique où il ne sera pas exceptionnel d'obtenir des dossiers *ante-mortem* exempts de traitements et soins.

Les techniques radiographiques classiques ne demandent aujourd'hui, à l'ère du numérique, qu'à être substituées ou complétées par des techniques tridimensionnelles. L'essor de l'intelligence artificielle, de la reconstruction 3D et de l'autopsie « virtuelle » sont un premier pas vers ce changement. Il existe un véritable potentiel d'adaptation des IML et des odontologues afin de suivre les rapides progrès technologiques qui s'opèrent ces dernières décennies. Cependant, dans le domaine de l'identification odontologique, la majorité des techniques radiographiques et méthodes d'applications traitées dans ce manuscrit sont encore fondamentales, rarement appliquées sur le terrain à cause du manque d'accessibilité des appareillages, de la complexité du processus, du besoin d'utilisateurs formés et surtout de la nécessité de réponse rapide afin de rendre les corps aux familles dans des délais appropriés.

Références Bibliographiques

1. Senn DR, Weems RA, editors. Manual of forensic odontology. 5th ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis; 2013. 445 p.
2. Hubar JS. Fundamentals of Oral and Maxillofacial Radiology [Internet]. Caballero P, editor. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2017. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781119411871>
3. White SC, Pharoah MJ. White and Pharoah's Oral Radiology: Principles and Interpretation. Elsevier Health Sciences; 2018. 706 p.
4. Hubar JS. Intraoral Imaging Techniques. In: Caballero P, editor. Fundamentals of Oral and Maxillofacial Radiology [Internet]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2017 [cited 2021 Mar 1]. p. 41–60. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781119411871>
5. Rocher P. Tomographie volumique à faisceau conique ou cone beam computed tomography: justification, optimisation & lecture. Paris: ADF Association dentaire française; 2015.
6. White SC, Pharoah MJ. Foundations. In: *Oral radiology: principles and interpretation. St. Louis; 2014. p. 1–15.
7. White SC, Pharoah MJ. Oral radiology: principles and interpretation. St. Louis; 2014.
8. Pauwels R, Araki K, Siewerdsen JH, Thongvigitmanee SS. Technical aspects of dental CBCT: state of the art. *Dento Maxillo Facial Radiol.* 2015;44(1):20140224.
9. Khambete N, Kumar R. Cone Beam Computed Tomography: A Third Eye for Dental Practitioners. *Int J Stomatol Res.* 2015;4(1):1–7.
10. Tomographie Volumique à Faisceau Conique ou Cone Beam Computed Tomography : Justification, optimisation et lecture.
11. Guide des indications et procédures des examens radiologiques en odontostomatologie [Internet]. [cited 2021 Mar 7]. Available from: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/guide_exam_rx_oct2006_2007_12_07__12_37_35_794.pdf
12. Cavézian R, Pasquet G. Cone Beam : Imagerie Diagnostique en Odontostomatologie [Internet]. Elsevier; 2011 [cited 2022 Sep 27]. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/C20110094747>
13. Foucart JM. La radioprotection en odontologie. 2e édition. Cdp; 2007. (Memento).
14. Beauthier JP, Mangin P, Hédouin V. Traité de médecine légale. Bruxelles: De Boeck; 2011.
15. Nossintchouk R, Tavernier JC, Ceccaldi PFP, Burdairon GP. Manuel d'odontologie médico-légale. Paris, France; 1991. 214 p.
16. Georget C, Fronty P, Sapanet M. L'identification comparative. Poitiers: Atlantique; 2001.

(Les cahiers d'odontologie médico-légale).

17. Fronty P, Sapanet M, Georget C, Collet G. L'identification estimative, première partie, l'avis de recherche et l'odontogramme numérique. Poitiers: Atlantique; 2005. (Les cahiers d'odontologie médico-légale).
18. Forrest A. Forensic odontology in DVI: current practice and recent advances. *Forensic Sci Res.* 2019;4(4):316–30.
19. Hutt JM, Ludes B, Kaess B, Tracqui A, Levy F, Mangin P, et al. Odontological identification of the victims of flight AI.IT 5148 air disaster Lyon-Strasbourg 20.01.1992. *Int J Legal Med.* 1995;107(6):275–9.
20. Nossintchouk RM, Tavernier JC, Ceccaldi PF, Burdairon G. 3. Identification exploratoire. In: *Manuel d'odontologie médico-légale.* Masson; 1990.
21. Becart-Robert A. Expertise odontologique judiciaire. *Ethics Med Public Health.* 2016;2(1):97–102.
22. Roy J, Shahu U, Shirpure P, Soni S, Parekh U, Johnson A. A literature review on dental autopsy – an invaluable investigative technique in forensics. *Autopsy Case Rep.* 11:e2021295.
23. Nossintchouk R, Tavernier JC, Gaudy JF. Atlas d'autopsie oro-faciale. Alexander Lacassagne. Lyon; 1993.
24. Danforth R, Herschaft E, Weems RA. Dental, Oral, and Maxillofacial Radiographic Features of Forensic Interest. In: *Manual of Forensic Odontology.*
25. Lamendin H, Baccino E, Humbert JF, Tavernier JC, Nossintchouk RM, Zerilli A. A simple technique for age estimation in adult corpses: the two criteria dental method. *J Forensic Sci.* 1992;37(5):1373–9.
26. Foti B, Adalian P, Signoli M, Ardagna Y, Dutour O, Leonetti G. Limits of the Lamendin method in age determination. *Forensic Sci Int.* 2001;122(2):101–6.
27. Kvaal SI, Kolltveit KM, Thomsen IO, Solheim T. Age estimation of adults from dental radiographs. *Forensic Sci Int.* 1995;74(3):175–85.
28. Kapila R, Nagesh KS, R. Iyengar A, Mehkri S. Sexual Dimorphism in Human Mandibular Canines: A Radiomorphometric Study in South Indian Population. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2011;5(2):51–4.
29. Capitaneanu C, Willems G, Jacobs R, Fieuws S, Thevissen P. Sex estimation based on tooth measurements using panoramic radiographs. *Int J Legal Med.* 2017;131(3):813–21.
30. Rehani S, Chandrashekhar C, Radhakrishnan R. The Role of Radiography in Forensic Dental Practice.
31. Pittayapat P, Jacobs R, De Valck E, Vandermeulen D, Willems G. Forensic Odontology in the Disaster Victim Identification Process. *J Forensic Odontostomatol.* 2012;30(1):1–12.
32. Code de Santé Publique. Article R1333-11.
33. Code du travail. Article R4451-6.
34. Hermsen KP, Jaeger SS, Jaeger MA. Radiation Safety for the NOMAD™ Portable X-

- Ray System in a Temporary Morgue Setting*. *J Forensic Sci.* 2008;53(4):917–21.
35. Danforth R, Herschaft E, Leonowich J. Operator Exposure to Scatter Radiation from a Portable Hand-held Dental Radiation Emitting Device (Aribex (TM) NOMAD (TM)) While Making 915 Intraoral Dental Radiographs. *J Forensic Sci.* 2009;54:415–21.
 36. Turner DC, Kloos DK, Morton R. Radiation Safety Characteristics of the NOMAD™ Portable X-ray System. :7.
 37. Silva RF, Franco A, Picoli FF, Nunes FG, Estrela C. Dental Identification Through Endodontic Radiographic Records: a Case Report. *Acta Stomatol Croat.* 2014;48(2):147–50.
 38. Koong B. Atlas of Oral and Maxillofacial Radiology [Internet]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2017. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118939604>
 39. Osta NE, Osta LE. Détermination de l'âge dentaire en odontologie médico-légale. *Int Arab J Dent IAJD.* 2014;5(1):19–25.
 40. Lunt RC, Law DB. A review of the chronology of calcification of deciduous teeth. *J Am Dent Assoc.* 1974;89(3):599–606.
 41. Bosmans N, Ann P, Aly M, Willems G. The application of Kvaal's dental age calculation technique on panoramic dental radiographs. *Forensic Sci Int.* 2005;153(2):208–12.
 42. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A New System of Dental Age Assessment. *Hum Biol.* 1973;45(2):211–27.
 43. George GJ, Chatra L, Shenoy P, Veena K, Prabhu R, Vagish Kumar L. Age determination by schour and massler method: A forensic study. *Int J Forensic Odontol.* 2018;3(1):36.
 44. Willems G, Van Olmen A, Spiessens B, Carels C. Dental Age Estimation in Belgian Children: Demirjian's Technique Revisited. *J Forensic Sci.* 2001;46(4):15064J.
 45. Shahin KA, Chatra L, Shenai P. Dental and craniofacial imaging in forensics. *J Forensic Radiol Imaging.* 2013;1(2):56–62.
 46. M M. The development of the human dentition. *J Am Dent Assoc.* 1941;28:1153.
 47. Saini V, Srivastava R, Rai RK, Shamal SN, Singh TB, Tripathi SK. Mandibular ramus: an indicator for sex in fragmentary mandible. *J Forensic Sci.* 2011;56 Suppl 1:S13-16.
 48. Franklin D, O'Higgins P, Oxnard CE, Dadour I. Discriminant function sexing of the mandible of Indigenous South Africans. *Forensic Sci Int.* 2008;179(1):84.e1-84.e5.
 49. Humphrey LT, Dean MC, Stringer CB. Morphological variation in great ape and modern human mandibles. *J Anat.* 1999;195(4):491–513.
 50. Sairam V, Geethamalika MV, Kumar PB, Naresh G, Raju GP. Determination of sexual dimorphism in humans by measurements of mandible on digital panoramic radiograph. *Contemp Clin Dent.* 2016;7(4):434–9.
 51. Rashid SA. Sex determination using linear measurements related to the mental and mandibular foramina vertical positions on digital panoramic images. *Oral Diagn.* 2011;23:7.
 52. Samatha K, Byahatti SM, Ammanagi RA, Tantradi P, Sarang CK, Shivpuje P. Sex determination by mandibular ramus: A digital orthopantomographic study. *J Forensic Dent Sci.*

2016;8(2):95–8.

53. Scheuer L. Application of osteology to forensic medicine. *Clin Anat N Y N*. 2002;15(4):297–312.

54. Ostovar Rad F, Javanshir B, Nemati S, Khaksari F, Mansoori R, Ranjzad H, et al. Evaluation of Sexual Dimorphism with Mandibular Parameters by Digital Panoramic Radiography. *Open Dent J*. 2020;14(1).

55. Sambhana S, Sanghvi P, Mohammed RB, Shanta PP, Thetay AAR, Chaudhary VS. Assessment of sexual dimorphism using digital orthopantomographs in South Indians. *J Forensic Dent Sci*. 2016;8(3):180.

56. Adams C, Carabott R, Evans S. *Forensic Odontology*. :339.

57. Shea JJ. Morphologic Characteristics of the sinuses. *Arch Otolaryngol*. 1936;23(4):484–7.

58. Jovanović S, Jelčić N, Kargovska-Klisarova A. [Postnatal development and anatomical relationship of the maxillary sinus]. *Acta Anat (Basel)*. 1984;118(2):122–8.

59. Dargaud J, Cotton F, Buttin R, Morin A. [The maxillary sinus: evolution and function in aging]. *Morphol Bull Assoc Anat*. 2003;87(276):17–22.

60. Cameriere R, Ferrante L, Mirtella D, Rollo F, Cingolani M. Frontal sinuses for identification: quality of classifications, possible error and potential corrections. *J Forensic Sci*. 2005;50(4):770–3.

61. Determining the Sex of Human Remains Through Cranial Morphology [Internet]. [cited 2022 Aug 30]. Available from: <https://www.astm.org/jfs2003385.html>

62. Quatrehomme G, Fronty P, Sapanet M, Grévin G, Bailet P, Ollier A. Identification by frontal sinus pattern in forensic anthropology. *Forensic Sci Int*. 1996;83(2):147–53.

63. Stewart TD. Review of The Human Skeleton in Forensic Medicine. *Hum Biol*. 1962;34(4):325–7.

64. Prabhat M, Rai S, Kaur M, Prabhat K, Bhatnagar P, Panjwani S. Computed tomography based forensic gender determination by measuring the size and volume of the maxillary sinuses. *J Forensic Dent Sci*. 2016;8(1):40–6.

65. Fernandes CL. Volumetric analysis of maxillary sinuses of Zulu and European crania by helical, multislice computed tomography. *J Laryngol Otol*. 2004;118(11):877–81.

66. Sahlstrand-Johnson P, Jannert M, Strömbeck A, Abul-Kasim K. Computed tomography measurements of different dimensions of maxillary and frontal sinuses. *BMC Med Imaging*. 2011;11(1):8.

67. Teke HY, Duran S, Canturk N, Canturk G. Determination of gender by measuring the size of the maxillary sinuses in computerized tomography scans. *Surg Radiol Anat*. 2007;29(1):9–13.

68. Schuller A. A note on the identification of skulls by X-ray pictures of the frontal sinuses. 1943 [cited 2021 Oct 6]; Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.5694/j.1326->

69. N. Asherson. Identification by Frontal Sinus Prints. A Forensic Medical Pilot Survey. 1965;
70. da Silva RF, Prado FB, Caputo IGC, Devito KL, Botelho T de L, Júnior ED. The forensic importance of frontal sinus radiographs. *J Forensic Leg Med.* 2009;16(1):18–23.
71. Yanagisawa E, Smith HM. Radiographic Anatomy of the Paranasal Sinuses: IV. Caldwell View. *Arch Otolaryngol.* 1968;87(3):311–22.
72. De Andrade Quintanilha Ribeiro F. Standardized Measurements of Radiographic Films of the Frontal Sinuses: An Aid to Identifying Unknown Persons. *Ear Nose Throat J.* 2000;79(1):26–33.
73. Xavier TA, Dias Terada ASS, da Silva RHA. Forensic application of the frontal and maxillary sinuses: A literature review. *J Forensic Radiol Imaging.* 2015;3(2):105–10.
74. Ruder TD, Kraehenbuehl M, Gotsmy WF, Mathier S, Ebert LC, Thali MJ, et al. Radiologic identification of disaster victims: A simple and reliable method using CT of the paranasal sinuses. *Eur J Radiol.* 2012;81(2):e132–8.
75. Silva RF, Rodrigues LG, Manica S, Franco RPAV, Franco do Rosario Junior A. Human identification established by the analysis of frontal sinus seen in anteroposterior skull radiographs using the mento-naso technique: a forensic case report. *RBOL- Rev Bras Odontol Leg [Internet].* 2019;6(1). Available from: <https://portalabol.com.br/rbol/index.php/RBOL/article/view/222>
76. Silva RF, Vaz CG, Domiciano ML, Franco A, Nunes CAB da CM, Prado MM do. Radiographic alterations of the frontal sinus morphology according to variations of the vertical angle in posteroanterior radiographs of the skull. *Acta Sci Health Sci.* 2014;36(1):113–7.
77. Gupta R, Bartling SH, Basu SK, Ross WR, Becker H, Pfoh A, et al. Experimental Flat-Panel High-Spatial-Resolution Volume CT of the Temporal Bone. *Am J Neuroradiol.* 2004 Sep 1;25(8):1417–24.
78. Heiland M, Schulze D, Blake F, Schmelzle R. Intraoperative imaging of zygomaticomaxillary complex fractures using a 3D C-arm system. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2005;34(4):369–75.
79. von See C, Bormann KH, Schumann P, Goetz F, Gellrich NC, Rucker M. Forensic imaging of projectiles using cone-beam computed tomography. *Forensic Sci Int.* 2009;190(1–3):38–41.
80. Trochesset DA, Serchuk RB, Colosi DC. Generation of intra-oral-like images from cone beam computed tomography volumes for dental forensic image comparison. *J Forensic Sci.* 2014;59(2):510–3.
81. Star H, Thevissen P, Jacobs R, Fieuws S, Solheim T, Willems G. Human Dental Age Estimation by Calculation of Pulp–Tooth Volume Ratios Yielded on Clinically Acquired Cone Beam Computed Tomography Images of Monoradicular Teeth*. *J Forensic Sci.* 2011;56(s1):S77–82.

82. Gulsahi A, Kulah CK, Bakirarar B, Gulen O, Kamburoglu K. Age estimation based on pulp/tooth volume ratio measured on cone-beam CT images. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2018;47(1):20170239.
83. Morse DR. Age-related changes of the dental pulp complex and their relationship to systemic aging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1991;72(6):721–45.
84. De Angelis D, Gibelli D, Gaudio D, Cipriani Noce F, Guercini N, Varvara G, et al. Sexual dimorphism of canine volume: A pilot study. *Leg Med.* 2015;17(3):163–6.
85. Tardivo D, Sastre J, Ruquet M, Thollon L, Adalian P, Leonetti G, et al. Three-dimensional Modeling of the Various Volumes of Canines to Determine Age and Sex: A Preliminary Study: volumes of canines : age and sex indicators. *J Forensic Sci.* 2011;56(3):766–70.
86. Abd Elsalam GS, El-Shal O, Shaaban A. Evaluation of Different Mandibular Measurements by Cone Beam Computed Tomography as A Forensic Age & Gender Determination Tools. *Al-Azhar Dent J Girls.* 2019;6(4):445–52.
87. El-fotouh MMA, El-badawy FM. Sex Determination of the Egyptian Population Using Mandibular CBCT Scans: Retrospective Study. 2018;5(3):7.
88. Sarment DP, Christensen AM. The use of cone beam computed tomography in forensic radiology. *J Forensic Radiol Imaging.* 2014;2(4):173–81.
89. Silva RF, Picoli FF, Botelho T de L, Resende RG, Franco A. Forensic Identification of Decomposed Human Body through Comparison between Ante-Mortem and Post-Mortem CT Images of Frontal Sinuses: Case Report. *Acta Stomatol Croat.* 2017;51(3):227–31.
90. Recent Human Sexual Dimorphism Study Using Cephalometric Plots on Lateral Teleradiography and Discriminant Function Analysis - Veyre-Goulet - 2008 - *Journal of Forensic Sciences* - Wiley Online Library [Internet]. [cited 2022 Sep 10]. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1556-4029.2008.00759.x>
91. Determination of Sex by Discriminant Function Analysis of Lateral Radiographic Cephalometry - ProQuest [Internet]. [cited 2022 Sep 10]. Available from: <https://www.proquest.com/openview/b6136cc419a486b711021519187457b6/1?pq-origsite=gscholar&cbl=536318>
92. Tobel JD, Hillewig E, Verstraete K. Forensic age estimation based on magnetic resonance imaging of third molars: converting 2D staging into 3D staging. *Ann Hum Biol.* 2017;44(2):121–9.
93. Widek T, Genet P, Merkens H, Boldt J, Petrovic A, Vallis J, et al. Dental age estimation: The chronology of mineralization and eruption of male third molars with 3T MRI. *Forensic Sci Int.* 2019;297:228–35.
94. Katne T, Kanaparathi A, Gotoor S, Muppurala S, Devaraju R, Gantala R. Artificial Intelligence: Demystifying Dentistry – The Future and Beyond. *Int J Contemp Med Surg Radiol* [Internet]. 2019;4(4). Available from: https://www.ijcmsr.com/uploads/1/0/2/7/102704056/ijcmsr_320.pdf

95. Kok JN. Artificial Intelligence : Definition, Trends, Techniques and Cases. *Artif Intell.* :5.
96. Albawi S, Mohammed TA, Al-Zawi S. Understanding of a convolutional neural network. In: 2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET). 2017. p. 1–6.
97. Fan F, Ke W, Wu W, Tian X, Lyu T, Liu Y, et al. Automatic human identification from panoramic dental radiographs using the convolutional neural network. *Forensic Sci Int.* 2020;314:110416.
98. Spampinato C, Palazzo S, Giordano D, Aldinucci M, Leonardi R. Deep learning for automated skeletal bone age assessment in X-ray images. *Med Image Anal.* 2017;36:41–51.
99. Larson DB, Chen MC, Lungren MP, Halabi SS, Stence NV, Langlotz CP. Performance of a Deep-Learning Neural Network Model in Assessing Skeletal Maturity on Pediatric Hand Radiographs. *Radiology.* 2018;287(1):313–22.
100. Banar N, Bertels J, Laurent F, Boedi RM, De Tobel J, Thevissen P, et al. Towards fully automated third molar development staging in panoramic radiographs. *Int J Legal Med.* 2020;134(5):1831–41.
101. Effect of Lower Third Molar Segmentations on Automated Tooth Development Staging using a Convolutional Neural Network - Merdietio Boedi - 2020 - *Journal of Forensic Sciences - Wiley Online Library* [Internet]. [cited 2022 Sep 9]. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1556-4029.14182>
102. Ilić I, Vodanović M, Subašić M. Gender Estimation from Panoramic Dental X-ray Images using Deep Convolutional Networks. In: *IEEE EUROCON 2019 -18th International Conference on Smart Technologies.* 2019. p. 1–5.
103. Loughrey MB, McCluggage WG, Toner PG. The declining autopsy rate and clinicians' attitudes. *Ulster Med J.* 2000;69(2):83–9.
104. Chariot P, Witt K, Pautot V, Porcher R, Thomas G, Zafrani ES, et al. Declining Autopsy Rate in a French Hospital: Physicians' Attitudes to the Autopsy and Use of Autopsy Material in Research Publications. *Arch Pathol Lab Med.* 2000;124(5):739–45.
105. Discrepancies between clinical and autopsy diagnosis and the value of post mortem histology; a meta-analysis and review - Roulson - 2005 - *Histopathology - Wiley Online Library* [Internet]. [cited 2022 Sep 6]. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2559.2005.02243.x>
106. Becker GJ. Virtues of virtual autopsy. *J Am Coll Radiol.* 2005;2(4):376–8.
107. Levy AD, Abbott RM, Mallak CT, Getz JM, Harcke HT, Champion HR, et al. Virtual Autopsy: Preliminary Experience in High-Velocity Gunshot Wound Victims. *Radiology.* 2006;240(2):522–8.
108. Thali MJ, Yen K, Vock P, Ozdoba C, Kneubuehl BP, Sonnenschein M, et al. Image-guided virtual autopsy findings of gunshot victims performed with multi-slice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) and subsequent correlation between

radiology and autopsy findings. *Forensic Sci Int.* 2003;138(1–3):8–16.

109. Jackowski C, Wyss M, Persson A, Classens M, Thali MJ, Lussi A. Ultra-high-resolution dual-source CT for forensic dental visualization—discrimination of ceramic and composite fillings. *Int J Legal Med.* 2008;122(4):301–7.

110. Woisetschläger M, Lussi A, Persson A, Jackowski C. Fire victim identification by post-mortem dental CT: Radiologic evaluation of restorative materials after exposure to high temperatures. *Eur J Radiol.* 2011;80(2):432–40.

111. Fortier JP, Demars-Frémault C, Weill R. *Abrégé de pédodontie.* Masson. Paris, France; 1987.

Table des illustrations

Figure 1 : Bilan radiographique intra-oral rétro-alvéolaire et rétro-coronaire (2).....	26
Figure 2 : Radiographies intra-orales rétro-alvéolaires des secteurs incisivo-canin (A), canine et prémolaire (B) et prémolo-molaire (C) (2).....	27
Figure 3 : Principe de la technique en parallèle pour les radiographies intra-orales adaptée de Hubar et al. (4).....	27
Figure 4 : Principe de la technique en bissectrice pour les radiographies intra-orales, adapté de Hubar et al. (4).....	28
Figure 5 : Radiographie intra-orale rétro-coronaire (2).....	29
Figure 6 : Radiographie intra-orale en mordue occlusal (3).....	29
Figure 7 : Panoramique dentaire (2).....	30
Figure 8 : Téléradiographie de face (A), de profil (B) et axiale en incidence de bouvet (C) profil (6).....	31
Figure 9 : Scanner en coupe sagittale (A), axiale (B) et frontale (C) (6).	31
Figure 10 : Principe d'acquisition du scanner (2,5), on remarque la rotation complète source/récepteur et la forme curviligne du récepteur de rayons X.	32
Figure 11 : Reconstruction panoramique d'un CBCT (2).....	32
Figure 12 : Vue axiale (A) et vue frontale (B) d'un CBCT (2).....	33
Figure 13 : Principe d'acquisition du CBCT, adapté de Pauwels et al. (8), on remarque la rotation synchrone source/récepteur et la forme plane du récepteur de rayons X.	33
Figure 14 : Coupe axiale d'imagerie par résonance magnétique nucléaire de la région cervico-faciale (6).....	34
Figure 15 : Artefacts radiologiques de CBCT(6), la visibilité des secteurs concernés est compromise par un flou occasionné par le durcissement de rayons au niveau de structures métalliques radio-opaques intra-buccales.....	45
Figure 16 : Exemples d'indices odonto-stomatologiques anatomiques et pathologiques d'identification comparative relevables sur RA avec A : un dens in dente ; B : un pulpolithe intra-canaire ; C : une résorption interne ; D : des incisives en forme de « pelle » ; E : hypoplasie partielle de l'émail ; F : persistance de molaire lactéale et agénésie du germe sous-jacent (24).55	
Figure 17 : Mesures radiographiques réalisées par Kvaal et Solheim avec A : la largeur radiculaire et pulpaire à la jonction émail-cément ; B : la largeur radiculaire et pulpaire à équidistance des mesures A et C ; C : la largeur radiculaire et pulpaire à équidistance entre la jonction émail-cément et l'apex ; T : la longueur maximale de la dent complète ; P : la longueur maximale de la pulpe ; R : la longueur radiculaire (27).	56
Figure 18 : Appareillage Nomad Dental™ de marque Aribex® pour la prise de radiographie rétro-alvéolaire et son boîtier d'acquisition et de visualisation Xpod (A) et sa mallette de transport pour	

les investigations de terrain (B) [photographie personnelle avec l'accord de l'Institut de médecine légale de Lille et de Mme le docteur Anne Bécart].	58
Figure 19 : Coupe sagittale de l'appareil NOMAD™ mettant en avant les différents dispositifs prévus pour la radioprotection des opérateurs, adapté de Turner et al. (36).	59
Figure 20 : Comparaison des radiographies péri-apicales <i>ante-mortem</i> (A, 2001, B et C 2004) et <i>post-mortem</i> (D, 2006) centrées sur l'arcade maxillaire secteur 1, groupe prémolo-molaire (37).	60
Figure 21 : Comparaison des radiographies péri-apicales <i>ante-mortem</i> (A,2001 et B, 2004) et <i>post-mortem</i> (C, 2006) centrées sur l'arcade maxillaire secteur 2, groupe incisivo-canin (37)..	61
Figure 22 : Stades de développement et de minéralisation de la denture permanente, adapté de la méthode de A. Demirjian, H. Goldstein et J. M. Tanner (42).	64
Figure 23 : Représentation radiographique des stades de développement et de minéralisation de la 2 ^e molaire mandibulaire selon la méthode de Demirjian, adaptée de Humphrey et al. (45). ..	65
Figure 24 : Illustration des 21 étapes chronologiques de la dentition du 4 ^e mois à la 35 ^e année d'âge dentaire adaptée de Schour et Massler (46), avec miu : mois intra-utérin ; m : mois et y : années.	66
Figure 25 : Positionnement des différents repères radiographiques utilisés pour la technique de Guy Willems, sur des panoramiques dentaires avec O le point le plus occlusal, OP le plan d'occlusion de la dent, MA l'apex radiographique mésial, A l'apex radiographique des dents monoradiculées, MCEJ et DCEJ respectivement les jonction émail-cément mésiale et distale (29).	67
Figure 26 : Schématisation de la position des différentes variables évaluées pour la détermination du sexe à partir du ramus mandibulaire : la largeur ramique maximale (A) ; la largeur ramique minimale (B) ; la hauteur condylienne ou hauteur ramique maximale (C) ; la hauteur condylienne projetée entre le plus haut point du condyle mandibulaire et le bord inférieur le plus bas de la mandibule (D) ; et la hauteur coronoïde entre le point le plus haut du processus coronoïde et le bord inférieur le plus bas de la mandibule (E) (47).	69
Figure 27 : Schématisation de la position des différentes variables évaluées pour la détermination du sexe à partir des foramina mandibulaire et mentonnier (50).	69
Figure 28 : Représentation des différentes variables morphométrique évaluées pour la détermination du sexe sur radiographie panoramique par analyse du ramus et des foramina mandibulaire et mentonnier adapté de Sairam et al. (50).	70
Figure 29 : Mesures moyennes des variables étudiées pour le ramus mandibulaire entre des sujets de sexe masculin et féminin, adapté de Samatha et al. (52).	71
Figure 30 : Représentations de différents paramètres morphométriques évaluées pour la détermination du sexe sur radiographie panoramique (55).	72
Figure 31 : Support improvisé pour aider au soutient d'un crâne en état de squelettisation dans une position correcte pour réaliser un panoramique (56).	73

Figure 32 : Comparaison de cliché panoramique <i>ante-mortem</i> (A) et rétro-alvéolaire <i>post-mortem</i> (B) ; avec l'accord de l'Institut de médecine légale de Lille et de Mme le docteur Anne Bécart.	73
Figure 33 : Mesure de la hauteur et la largeur des sinus maxillaires sur coupe frontale de scanner (64).....	77
Figure 34 : Incidence de Caldwell du sinus frontal <i>ante mortem</i> (A) et <i>post mortem</i> (B) avec augmentation du contraste et de la luminosité et délimitations <i>ante-mortem</i> (C), <i>post-mortem</i> (D) du sinus frontal et leur superposition assistée par ordinateur (E) adapté de da Silva et al. (70). 79	79
Figure 35 : Mesures morphométriques du sinus frontal sur une coupe frontale d'un scanner du massif facial (73).	80
Figure 36 : Mesures morphométriques du sinus frontal sur une coupe axiale d'un scanner du massif facial (73).	80
Figure 37 : Coupe Axiale de scanner <i>ante-mortem</i> au niveau des sinus frontal (A), sphénoïdal (B) et maxillaires (C) et le matchning avec un scanner <i>post-mortem</i> au niveau des sinus frontal (D), sphénoïdal (E) et maxillaires (F) (74).....	82
Figure 38 : Coupe Axiale de scanner <i>ante-mortem</i> au niveau des sinus frontal (a), sphénoïdal (b) et maxillaires (c) et le matchning avec un scanner <i>post-mortem</i> au niveau des sinus frontal (d), sphénoïdal (e) et maxillaires (f) (74).	82
Figure 39 : Scanner <i>ante-mortem</i> (A) du disparu et scanner <i>post-mortem</i> (B) du décédé (75)...	83
Figure 40 : Mesures morphométriques radiographiques réalisées sur les radiographies <i>ante-mortem</i> de l'individu disparu (A) et <i>post-mortem</i> de l'individu décédé (B) par la technique de Ribeiro (75).....	83
Figure 41 : Séparation et segmentations d'une incisive centrale maxillaire à partir d'un fichier Dicom de CBCT importé sur Simplant® Pro Software avec A : segmentation au voisinage de la dent d'intérêt ; B : isolation de la dent d'intérêt ; C : segmentation de la pulpe de la dent d'intérêt ; D : isolation du volume pulpaire de la dent d'intérêt (81).	87
Figure 42 : Isolation automatisée du volume dentaire (A) et du volume pulpaire (B) à partir d'un fichier <i>Dicom</i> de CBCT importé dans un logiciel de rendu volumétrique de mesure par segmentation vectorielle, coupe par coupe (82).	87
Figure 43 : Imagerie en coupe horizontale d'un projectile métallique dans la proximité immédiate de structures osseuses avec le scanner (A) et le CBCT (B) (79).	89
Figure 44 : Séries de coupes axiales d'un scanner des sinus para-nasaux <i>ante-mortem</i> de la présumée victime (2012) (89).....	90
Figure 45 : Incidence de Caldwell <i>post-mortem</i> du sinus frontal de la victime (89).	91
Figure 46 : Comparaison du scanner <i>ante-mortem</i> (AM) et du CBCT <i>post-mortem</i> (PM) au niveau de la section inférieure (A), médiane (B) et supérieure (C) des sinus frontaux de la victime (89).	92
Figure 47 : L'identification médico-légale de certitude en résumé (production personnelle).	94

Figure 48 : Arbre décisionnel du choix de la technique d'imagerie en identification odontologique comparative et les différents indices odonto-stomatologiques relevables (production personnelle).	97
Figure 49 : Arbre décisionnel du choix de la technique d'imagerie en identification odontologique estimative et les différentes méthodes d'estimation de l'âge et du sexe du défunt (production personnelle).	99
Figure 50 : IRM en coupe sagittale de la 3 ^e molaire maxillaire (A) et mandibulaire (B) au stade D de Demirjian. La flèche blanche indiquant la racine choisie pour la prise de décision (92).	102
Figure 51 : Comparaison de radiographie panoramique des 3 ^e molaires maxillaire (A) et mandibulaire (B) et de IRM en coupe sagittale des mêmes 3 ^e molaires maxillaire (C) et mandibulaire (D) au stade F de Demirjian. La flèche blanche indiquant la racine choisie pour la prise de décision (92).	102
Figure 52 : Architecture du système d'identification automatisée DENT-net développé à l'aide du CNN, adapté de Fan et al. (97).	105
Figure 53 : Schématisation de l'infrastructure logicielle du CNN pour l'identification comparative de radiographies panoramiques (97).	106
Figure 54 : Types de segmentations opérées par le CNN. On a la segmentation en boîte englobante sur panoramique (A), l'ébauche de segmentation de la zone d'intérêt (B), l'ébauche de segmentation de la dent (C) et la segmentation complète de la dent (D) (101).	107
Figure 55 : Schématisation de la procédure automatisée d'estimation de l'âge via les stades de développements de la 3 ^e molaire mandibulaire effectuée par le CNN, adaptée de Banar et al. (100).	108

Table des tableaux

Tableau 1 : Résumé des techniques d'imagerie en pratique clinique de la chirurgie dentaire [production personnelle].....	35
Tableau 2 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites de la radiographie rétro-alvéolaire [production personnelle].	37
Tableau 3 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites de la radiographie panoramique [production personnelle].....	39
Tableau 4 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites de la radiographie rétro-coronaire [production personnelle].....	40
Tableau 5 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites du mordus occlusal [production personnelle].....	41
Tableau 6 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites de la téléradiographie [production personnelle].....	42
Tableau 7 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites du scanner [production personnelle].	44
Tableau 8 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites du cone beam (CBCT) [production personnelle].....	46
Tableau 9 : Résumé des indications, contre-indications, intérêts et limites de l'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) [production personnelle].	47
Tableau 10 : Tableau récapitulatif des méthodes, indications, avantages, inconvénients et limites de la radiographie rétro-alvéolaire en identification odontologique [production personnelle]. ..	62
Tableau 11 : Tableau récapitulatif des méthodes, indications, avantages, inconvénients et limites de la radiographie panoramique en identification odontologique [production personnelle].....	75
Tableau 12 : Résumé des mesures effectuées par la technique de Ribeiro sur les radiographies <i>ante-mortem</i> et <i>post-mortem</i> , A à G étant représentés sur la figure 45, adapté de Silva et al. [58].	84
Tableau 13 : Tableau récapitulatif des méthodes, indications, avantages, inconvénients et limites du scanner en identification odontologique [production personnelle].	85
Tableau 14 : Tableau récapitulatif des méthodes, indications, avantages, inconvénients et limites du CBCT en identification odontologique [production personnelle].	93

Annexes

Annexe 1 : exemple d'odontogramme *ante-mortem* de l'Association Française d'Identification Odontologique (AFIO).

A M	Rédigé par :		Date :	
	Nom :	Prénom :	Sexe : Féminin	
	Date de naissance :	Age/disparition :		
Sources Fiches: <input type="checkbox"/> Rétro-alvéolaires: <input type="checkbox"/> Pano: <input type="checkbox"/> Photos: <input type="checkbox"/> Moulages: <input type="checkbox"/>				
Praticiens traitants :				

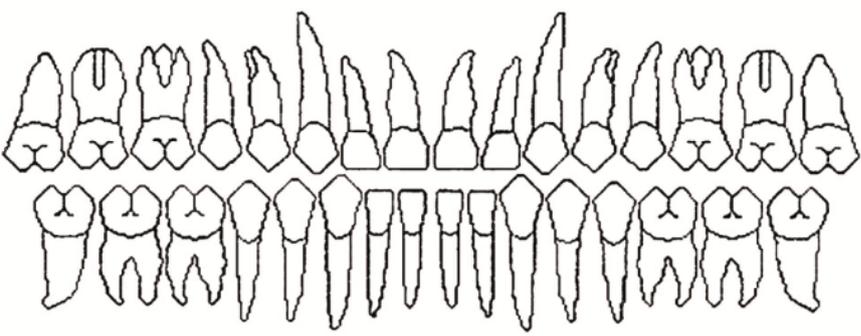
11			21
12			22
13			23
14			24
15			25
16			26
17			27
18			28

48			38
47			37
46			36
45			35
44			34
43			33
42			32
41			31

Annexe 2 : exemple d'odontogramme *post-mortem* de l'AFIO.

P	Rédigé par :	Date :
	Autopsie n° :	Remarques :
	M	Scellés n° :
Lieu de découverte :		Sexe : Indéterminé Age estimé :

11				21
12				22
13				23
14				24
15				25
16				26
17				27
18				28



48					38
47					37
46					36
45					35
44					34
43					33
42					32
41					31

Annexe 3 : Exemple d'odontogramme de réconciliation *ante-mortem* et *post-mortem* de l'AFIO.

AM	Rédigé par :		Date :	
	Nom :		Corps N° :	
PM	Prénom :		Scellés N° :	
	Date de naissance :	Sexe <input type="radio"/> M <input type="radio"/>	Sexe : <input type="radio"/> M <input type="radio"/>	
	Age-disparition :		Age estimé :	

11			21
12			22
13			23
14			24
15			25
16			26
17			27
18			28

48			38
47			37
46			36
45			35
44			34
43			33
42			32
41			31

Annexe 4 : Tables de Fortier de la denture déciduale et mixte (39,111).

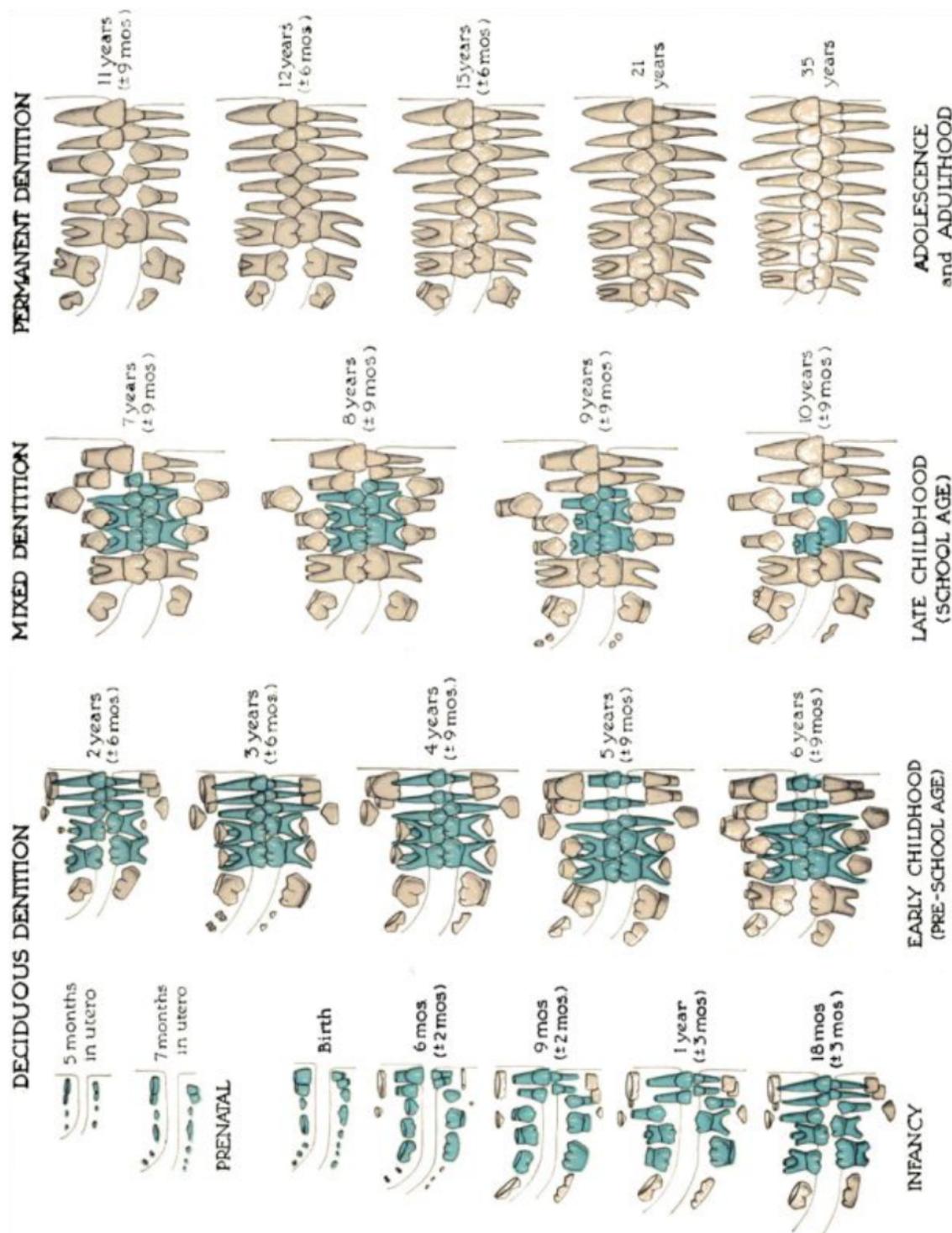
Dents	Achèvement de la couronne	Eruption	Edification complète des racines	Résorption	Remplacement
Centrale	3 à 4 mois	3 à 6 mois	2 ans	4 ans	7 ans
Latérale	4 à 5 mois	6 à 12 mois	2 ans ½	5 ans	8 ans
Canine	9 à 12 mois	18 à 24 mois	3 ans	8 ans	11 ans
1ère molaire	6 à 9 mois	12 à 18 mois	3 ans	6 ans	10 ans
2ème molaire	12 mois	24 à 30 mois	4 ans	7 ans	11 ans

Dents	Mise en place du germe	Début de minéralisation	Achèvement de la couronne	Eruption	Edification complète
Centrale	5ème mois I.U.	3 mois	4 à 5 ans	6 à 7 ans	10 ans
Latérale	5ème mois I.U.	6 mois	5 ans	7 à 8 ans	10 ans
Canine	5ème mois I.U.	6 à 9 mois	6 ans	11 à 12 ans	13 à 15 ans
1ère prémolaire	Naissance	2 ans	6 à 7 ans	10 à 12 ans	13 ans
2ème prémolaire	9 à 12 mois	3 ans	6 à 8 ans	11 à 12 ans	14 ans
1ère molaire	4ème mois I.U.	Naissance	3 à 4 ans	6 ans	9 à 10 ans
2ème molaire	9 à 12 mois	30 mois	8 ans	12 à 13 ans	15 ans
3ème molaire	5 à 6 ans	7 à 10 ans	13 à 15 ans	17 ans à +	Après 18 ans

Annexe 5 : Tables de Logan et Kronfeld modifiée par McCall et Schour pour la denture déciduale (40).

Deciduous tooth	Hard tissue formation begins (mo in utero)	Amount of enamel formed at birth	Enamel completed (mo)	Eruption (mo)	Root completed (yr)
Maxillary					
Central incisor	4	Five sixths	1 1/2	7 1/2	1 1/2
Lateral incisor	4 1/2	Two thirds	2 1/2	9	2
Canine	5	One third	9	18	3 1/4
First molar	5	Cusps united	6	14	2 1/2
Second molar	6	Cusp tips still isolated	11	24	3
Mandibular					
Central incisor	4 1/2	Three fifths	2 1/2	6	1 1/2
Lateral incisor	4 1/2	Three fifths	3	7	1 1/2
Canine	5	One third	9	16	3 1/4
First molar	5	Cusps united	5 1/2	12	2 1/4
Second molar	6	Cusp tips still isolated	10	20	3

Annexe 6 : Table de référence de Schour et Massler de l'AFIO.



TECHNIQUES D'IMAGERIE EN CHIRURGIE DENTAIRE. APPLICATIONS EN
IDENTIFICATION ODONTOLOGIQUE

DE CRAEKER Maxime. p. (133) : ill. (55) ; réf. (111).

Domaines : Odontologie légale

Mots clés Rameau : Odontologie légale ; Identification des personnes ; Dents -
Identification

Mots clés MeSH : Odontologie légale ; Radiologie

Mots clés libres : Identification odontologique ; Imagerie

Résumé de la thèse :

L'identification répond à des enjeux sociétaux, juridiques et éthiques auxquels on ne saurait se soustraire. Dans le cadre de l'exercice de l'art dentaire, l'identification odontologique est une composante de l'odontologie médico-légale. Pour déterminer l'identité d'un défunt, il existe des techniques d'imagerie dentaire, la radiologie dentaire étant un outil clé de la tâche d'identification comparative ou estimative. Bien que celle-ci ne saurait se substituer à l'expérience et aux compétences de l'odontologiste, et à l'instar de la pratique sur le vivant, elle complète, assiste et oriente l'observation clinique. Ce manuscrit propose de répondre à la problématique : quelle(s) technique(s) d'imagerie pour quelle(s) situation(s) en odontologie médico-légale ? Les techniques d'imagerie, qu'elles soient intra-orales ou extra-orales, bidimensionnelles comme tridimensionnelles, de première comme de seconde intention, ont des applications en identification odontologique *post-mortem* afin de rechercher des indices odonto-stomatologiques radiologiques dans le but d'orienter l'investigateur vers une identification qu'elle soit positive, probable, exclue ou à défaut vers la constitution d'un profil biologique du défunt. Il existe une mosaïque de techniques pour une grande variabilité de situations dont le choix se fera au cas par cas, par la prise en compte de paramètres cliniques, logistiques et techniques, motivés par les premières investigations et observations cliniques réalisées par l'odontologiste et la composition d'un dossier dentaire *ante-mortem*. L'essor de nouvelles technologies comme l'imagerie 3D et l'intelligence artificielle font que les techniques d'identification sont vouées à s'améliorer, à gagner en qualité, en précision et en rapidité.

JURY :

- **Président :** Madame la Professeure Caroline DELFOSSE
- **Asseseurs :** Monsieur le Docteur Philippe ROCHER
Monsieur le Docteur Maxime BEDEZ
Madame le Docteur Anne BÉCART-ROBERT