



UNIVERSITÉ DE LILLE
DÉPARTEMENT FACULTAIRE UFR3S-ODONTOLOGIE

Année de soutenance : 2025

N° :

THÈSE POUR LE
DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 13 JANVIER 2025

Par Clémence MAILLY

Née le 15 Février 1998 à Armentières (France)

**ANALYSE SUR CONE BEAM DES ÉLÉMENTS ANATOMIQUES À
RISQUE EN CHIRURGIE IMPLANTAIRE ET LEURS VARIATIONS
ANATOMIQUES**

JURY

Président : Mme la Professeure Caroline DELFOSSE
Assesseurs : Mme le Docteur Céline CATTEAU
Mme le Docteur Amélie DE BROUCKER
Mr le Docteur Philippe ROCHER



UNIVERSITÉ DE LILLE
DÉPARTEMENT FACULTAIRE UFR3S-ODONTOLOGIE

Année de soutenance : 2025

N° :

THÈSE POUR LE
DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 13 JANVIER 2025

Par Clémence MAILLY

Née le 15 Février 1998 à Armentières (France)

**ANALYSE SUR CONE BEAM DES ÉLÉMENTS ANATOMIQUES À
RISQUE EN CHIRURGIE IMPLANTAIRE ET LEURS VARIATIONS
ANATOMIQUES**

JURY

Président : Mme la Professeure Caroline DELFOSSE
Assesseurs : Mme le Docteur Céline CATTEAU
Mme le Docteur Amélie DE BROUCKER
Mr le Docteur Philippe ROCHER

Président de l'Université :	Pr. R. BORDET
Directrice Générale des Services de l'Université :	A.V. CHIRIS FABRE
Doyen UFR3S :	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S :	A. PACAUD
Vice doyen du département facultaire UFR3S -Odontologie :	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services :	L. KORAÏCHI
Responsable de la Scolarité :	V. MAURIAUCOURT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTÉ

PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS EMERITE

E. DEVEAUX Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

K. AGOSSA Parodontologie

P. BOITELLE Responsable du département de Prothèse

T. COLARD Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

C. DELFOSSE	Vice doyen du département facultaire UFR3S- Odontologie Odontologie Pédiatrique Responsable du département d'Orthopédie dento- faciale
L. ROBBERECHT	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
F. BOSCHIN	Parodontologie
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Épidémiologie, Économie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUDEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
C. DENIS	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Responsable du Département de Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses

L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin – CHU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
H. PERSOON	Dentisterie Restauratrice Endodontie (maître de conférences des Universités associé)
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. SAVIGNAT	Responsable du Département de Fonction- Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Responsable du Département d'Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses
R. WAKAM KOUAM	Prothèses

PRATICIEN HOSPITALIER ET UNIVERSITAIRE

M. BEDEZ	Chirurgie Orale
----------	-----------------

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

Section Développement, Croissance et Prévention

Département Odontologie Pédiatrique

Docteur en Chirurgie Dentaire

Doctorat de l'Université de Lille (mention Odontologie)

Habilitation à Diriger des Recherches (Université Clermont Auvergne)

Diplôme d'Etudes Approfondies Génie Biologie & Médical - option Biomatériaux

Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales

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

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

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

Diplôme Inter Universitaire « Pédagogie en sciences de la santé »

Formation Certifiante en Education Thérapeutique du Patient

Vice doyen du Département facultaire UFR3S-Odontologie – Lille

Responsable du Département d'Orthopédie dento-faciale

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements pour avoir
accepté de présider la soutenance de ma thèse.*

*Je vous remercie également pour votre disponibilité et le temps que vous avez
consacrés à examiner mon manuscrit, ainsi que l'investissement dont vous faites preuve
envers les étudiants du département d'odontologie, notamment ceux préparant le
concours de l'internat en odontologie, malgré vos nombreuses responsabilités
académiques.*

*Avec toute ma reconnaissance, je vous adresse mes salutations les plus
respectueuses.*

Madame le Docteur Céline CATTEAU

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section Développement, Croissance et Prévention

Département Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Odontologie de l'Université d'Auvergne

Master II Recherche « Santé et Populations » - Spécialité Evaluation en Santé & Recherche Clinique - Université Claude Bernard (Lyon I)

Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales (Lille)

Formation à la sédation consciente par administration de MEOPA pour les soins dentaires (Clermont-Ferrand)

Formation certifiante « concevoir et évaluer un programme éducatif adapté au contexte de vie d'un patient » (CERFEP Lille)

Adjoint au vice doyen département facultaire UFR3S-Odontologie - Lille

Responsable du Département Prévention et Epidémiologie, Economie de la Santé et Odontologie Légale

Je vous exprime toute ma reconnaissance pour avoir accepté d'être assesseur dans ce jury. Sachez que je suis très heureuse de vous compter parmi les membres présents de ce jury.

Je tiens également à vous remercier en particulier pour le temps que vous avez consacré aux étudiants préparant le concours de l'internat en odontologie.

Je vous prie de recevoir l'expression de mes sentiments les plus respectueux.

Madame le Docteur Amélie de BROUCKER

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université de Lille

Chargé de mission Vie de campus et relations étudiants

Je vous suis sincèrement reconnaissante d'avoir accepté d'être membre de ce jury.

Je vous remercie pour vos enseignements durant tout mon cursus universitaire et tout particulièrement pour votre aide qui a été précieuse pour obtenir une partie des clichés radiographiques insérés dans cette thèse. J'espère que vous apprécierez la lecture de ce travail.

Veillez trouver ici l'expression de mon plus profond respect.

Monsieur le Docteur Philippe ROCHER

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille

Maîtrise des Sciences Biologiques et Médicales

Diplôme d'Etudes Approfondies de Génie Biologique et Médicale - option
Biomatériaux

Diplôme Universitaire de Génie Biologique et Médicale

Certificat d'Etudes Supérieures de Biomateriaux

*A l'issue de la rédaction de cette thèse, je vous transmets ma gratitude pour avoir
accepté de diriger ce travail qui clôture mon cursus universitaire.*

*Votre encadrement dans la rédaction, votre disponibilité et le temps que vous avez
consacré à répondre à mes questions et examiner mon manuscrit m'ont été précieux.*

J'espère que ce travail est à la hauteur de vos espérances.

Avec toute ma reconnaissance et mes remerciements les plus sincères.

A mes proches,

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.....	18
1) La tomographie volumique à faisceau conique.....	20
1. L'imagerie bidimensionnelle en chirurgie implantaire.....	20
1. L'usage de l'imagerie bidimensionnelle en chirurgie dentaire.....	20
2. Les limites de l'imagerie bidimensionnelle.....	20
2. L'histoire du cone beam.....	21
3. Le fonctionnement de la tomographie volumique à faisceau conique.....	21
1. Le principe.....	21
2. Les avantages.....	22
3. Les inconvénients.....	23
4. Les grands principes de radioprotection.....	25
1. Les éléments généraux.....	25
2. La justification.....	25
3. L'optimisation.....	27
4. La limitation.....	28
2) L'usage du cone beam en implantologie dentaire.....	28
1. Les étapes radiologiques pré-implantaires.....	29
1. Les examens radiologiques bidimensionnels : la radiographie rétro-alvéolaire et la radiographie panoramique.....	29
2. Les examens radiologiques tridimensionnels: le cone beam.....	30
3) Les éléments anatomiques visualisables sur CBCT d'un intérêt chirurgical en implantologie.....	32
1. L'arcade maxillaire.....	32
1. La région incisivo-canine.....	32
1 Les fosses nasales.....	32
2 Le canal incisif maxillaire.....	34
3 Le canalis sinuosus.....	35
2. La région prémolo-molaire.....	38
1 Le sinus maxillaire.....	38
1. Les septa maxillaires.....	40
2. L'artère alvéolo-antrale.....	43

2 Le foramen grand palatin.....	48
2. L'os mandibulaire.....	50
1. La région antérieure.....	50
1 Le foramen et canal lingual.....	50
2 Le canal incisif mandibulaire.....	54
2. La région postérieure.....	58
1 Le foramen mentonnier.....	58
2 La boucle antérieure du nerf mentonnier.....	60
3 Le canal mandibulaire.....	61
4 La fosse submandibulaire.....	67
Conclusion.....	70
Bibliographie.....	71
Table des illustrations.....	78

Introduction

L'implantologie dentaire est une discipline de chirurgie dentaire qui consiste à remplacer une ou plusieurs dents manquantes chez un patient par une solution fixe dont le support endo-osseux est artificiel. Cette pratique est en développement constant ces dernières années. Elle s'est imposée comme une solution de choix pour la réhabilitation à la fois esthétique et fonctionnelle des patients dont l'édentement partiel ou total affecte négativement leur qualité de vie et peut entraîner des retentissements négatifs sur leur santé générale. Ce traitement est possible chez la plupart des patients car les contre-indications totales sont peu nombreuses. Son principal avantage est qu'il permet une économie tissulaire de la denture car il n'implique aucun délabrement pour les dents adjacentes. Depuis ses premières applications, cette technique a évolué de manière significative grâce aux avancées technologiques, entre autres, dans le domaine de l'imagerie médicale.

En effet, depuis les années 70 l'imagerie tridimensionnelle, en particulier la tomographie volumique à faisceau conique, ou cone beam computed tomography (CBCT), a permis d'améliorer la pratique de la chirurgie dentaire dans toutes les disciplines en termes de diagnostic, de planification d'interventions et de réalisations d'actes chirurgicaux. Les CBCT permettent une visualisation détaillée des structures dans les trois plans de l'espace contrairement aux radiographies conventionnelles bidimensionnelles. C'est un avantage majeur dans la pratique de la chirurgie implantaire. L'évaluation des zones d'intérêt et de leurs obstacles anatomiques avant la chirurgie est plus précise pour prévenir des complications per ou post-opératoires et ainsi optimiser le succès à long terme du traitement implantaire.

En effet, la proximité de structures anatomiques à proximité des sites opératoires présente un risque de complications lors de l'intervention chirurgicale, telles que des perforations osseuses ou des lésions nerveuses. Ces structures requièrent une vigilance accrue pour le chirurgien-dentiste. Une connaissance de l'anatomie et une analyse pré-chirurgicale lors de la planification sont essentielles pour prévenir des complications potentiellement graves.

L'intérêt de cette thèse est de fournir des coupes d'imagerie d'éléments anatomiques visualisables sur CBCT et leurs variations anatomiques possibles qui existent pour une réduction des risques chirurgicaux et une meilleure approche de la chirurgie implantaire, dans le but d'offrir une meilleure prise en charge des patients.

1) La tomographie volumique à faisceau conique

1. L'imagerie bidimensionnelle en chirurgie implantaire

1. L'usage de l'imagerie bidimensionnelle en chirurgie dentaire

Les radiographies bidimensionnelles sont les radiographies les plus couramment réalisées en chirurgie dentaire. Elles sont toujours réalisées en première intention lorsqu'il est nécessaire de disposer de clichés radiographiques pour compléter l'examen clinique, avant d'avoir recours à des clichés radiographiques tridimensionnels complémentaires. Elles comprennent, dans le domaine de la chirurgie dentaire, les radiographies rétro-coronaires, rétro-alvéolaires, les orthopantomogrammes et les téléradiographies de profil et de face.

2. Les limites de l'imagerie bidimensionnelle

Les limites et inconvénients de la radiographie bidimensionnelle sont multiples. Le principal inconvénient de ce type de radiographie est l'absence de visualisation de la profondeur des structures anatomiques, limitant la compréhension de la zone d'intérêt dans l'axe vestibulo-lingual ou vestibulo-palatin. De plus, le mode de fonctionnement des appareils génère une superposition ou une distorsion des images des éléments d'intérêt selon leur positionnement et l'angulation de la radiographie.

Pour pallier ces contraintes techniques, les appareils de tomographie à faisceau conique ont vu le jour à la fin des années 90. Ils permettent d'obtenir des images radiologiques tridimensionnelles à des fins diagnostiques ou de planification chirurgicale.

L'objet de cette thèse concernant l'utilisation pratique du cone beam, il ne sera pas abordé en détail la radiophysique de cet appareil ni la législation réglementant son utilisation.

2. L'histoire du cone beam

Les premières images de tomodensitométrie en 3 dimensions ont été réalisées en 1972 par le britannique Godfrey Newbold Hounsfield et l'américain Allan Macleod Cormack. Cette technologie s'est développée pendant plusieurs années et a fini par produire la tomographie volumique à faisceau conique, dit « cone beam » ou CBCT. Le premier appareil, le NewTom QRDVT 9000® (QR, Verona, Italie), est apparu en 1991 [1].

Au fil des années, les appareils se sont développés au niveau mondial et ont évolué. Leur usage s'est répandu dans les différentes spécialités médicales. D'autres modèles ont ainsi vu le jour et les fabricants ont continué à développer des systèmes de CBCT adaptés à différentes applications médicales, élargissant ainsi les possibilités d'utilisation de cette technologie. L'usage dentaire du CBCT a débuté en 1995 grâce à Attilio Tacconi et Piero Mozzo qui ont co-développé le CBCT pour la région maxillo-faciale [2].

3. Le fonctionnement de la tomographie volumique à faisceau conique

1. Le principe

Le cone beam est une technique d'imagerie médicale tridimensionnelle utilisée principalement en radiologie dentaire, en radiothérapie et dans d'autres domaines de la médecine.

Le principe de fonctionnement du cone beam peut être décrit de la manière suivante :

- émission du faisceau en forme de cône des rayons X,
- détection des rayons X par un système effectuant une rotation complète autour du patient,
- reconstruction informatique d'une image dans les 3 plans de l'espace et en reconstitution tridimensionnelle,
- affichage sur écran,
- analyse par le professionnel de santé [3].

La résolution spatiale est définie par la taille du voxel qui est l'unité de volume. Dans le cas des CBCT, le voxel est isotrope, c'est-à-dire que la longueur de tous ses côtés est identique.

Pour répondre aux différentes indications en odonto-stomatologie, il existe plusieurs champs d'exploration (ou FOV pour "field of view") :

- les petits champs : inférieurs à 8 cm,
- les champs moyens : entre 8 et 15 cm,
- les grands champs : supérieurs à 15 cm.

Plus le champ d'exploration est grand et plus le temps de reconstruction est long. Le poids du fichier informatique est également plus important. De plus, l'exposition aux rayonnements est augmentée. Il est donc nécessaire d'ajuster correctement la taille du champ, sans en choisir un trop petit qui pourrait engendrer une perte d'information.

Les logiciels reliés aux appareils CBCT offrent de nombreuses options : le marquage des éléments anatomiques, le positionnement virtuel d'un implant et la réalisation de guides chirurgicaux.

2. Les avantages

L'utilisation du CBCT dans les différents domaines de la chirurgie dentaire est en pleine expansion, pour de nombreuses raisons.

L'avantage principal du CBCT est qu'il s'agit d'un type d'imagerie tridimensionnelle : il est capable de fournir des images du volume d'intérêt dans les 3 plans de l'espace. Les performances techniques de l'appareil CBCT en termes de précision et de fiabilité permettent de visualiser des structures anatomiques sous différents plans et donc une analyse plus précise.

Le cone beam permet une très bonne visualisation des structures osseuses : le CBCT a une très bonne résolution spatiale pour explorer des structures minéralisées (dents, os), ce qui en fait un outil précieux en dentisterie et en chirurgie maxillo-faciale [4].

La reconstitution des images en modèle 3D favorise également une meilleure communication entre les professionnels de santé et les patients.

Les appareils CBCT sont plus petits et plus faciles à utiliser que les scanners conventionnels, ce qui permet une meilleure généralisation dans les cabinets dentaires. Avec l'évolution technologique les appareils sont de plus en plus performants. Les derniers appareils sur le marché cumulent à la fois la radiographie panoramique et le CBCT.

Comparés à la tomodensitométrie conventionnelle (scanner), les appareils CBCT génèrent une dose de rayonnement moins élevée : les doses peuvent varier de 1,5 à 12 fois moins que celles délivrées par un scanner. Cela en fait une option plus sûre pour les patients tout en offrant une image tout à fait adéquate [3].

Le coût financier des CBCT, à la fois de l'appareil et de la réalisation d'un cliché, moindre que celui d'un scanner, est également un argument pour faciliter son achat par les professionnels de santé et son utilisation à la place d'un CT traditionnel lorsqu'une image tridimensionnelle est nécessaire [5].

Le CBCT est souvent utilisé pour la conception des chirurgies, notamment implantaire, et du guide chirurgical, en permettant aux chirurgiens de planifier et de guider les interventions. Les logiciels de planification implantaire sont conçus pour recevoir les images provenant des CBCT et pouvoir les exploiter.

3. Les inconvénients

L'inconvénient majeur des cone beam est l'exposition à des doses de radiations plus élevées par rapport à celle des radiographies 2D : l'irradiation lors d'une radiographie intra-orale varie de 1 à 8 μSv et celle d'une radiographie panoramique entre 4 et 30 μSv . Celle d'un CBCT peut s'élever jusqu'à 100 μSv selon le champ choisi (Figure 1 [6]) [7]. Les doses d'un CBCT peuvent donc être multipliées par plus de 40 par rapport à la radiographie panoramique selon les appareils utilisés. Il convient ainsi de limiter la réalisation des clichés radiologiques à des fins diagnostiques précises et encadrées car une exposition répétée peut présenter un risque pour la santé à long terme [4,8].

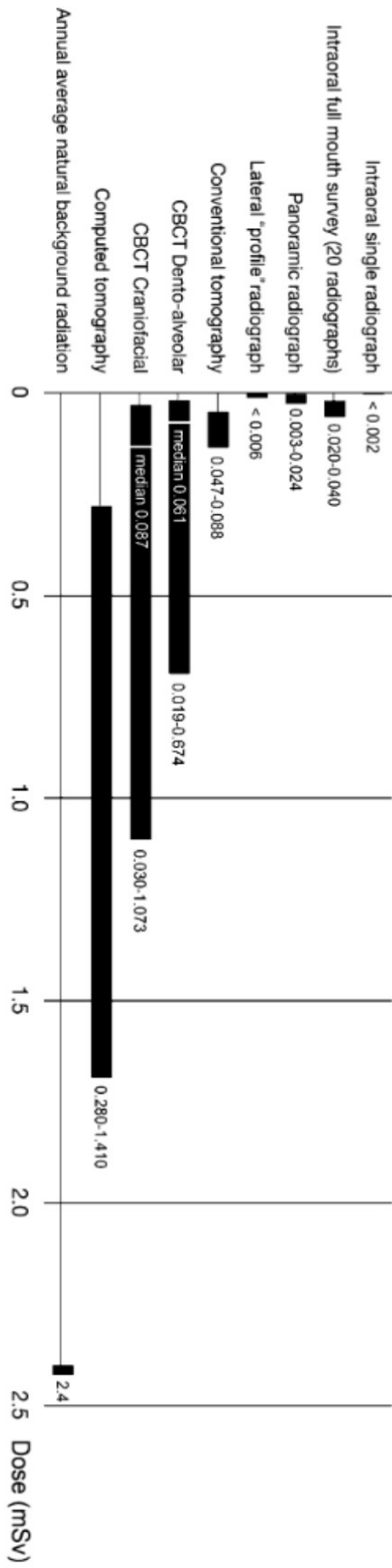


Figure 1: Doses efficaces (en mSv) en radiologie dentaire [6].

La réalisation de cone beam nécessite un équipement particulier pour réaliser l'examen radiographique et la reconstitution anatomique. L'appareil cone beam est certes moins onéreux qu'un scanner traditionnel, il reste cependant un investissement financier non négligeable pour de nombreux cabinets dentaires ce qui peut rendre l'accès à cette technologie au sein du cabinet difficile.

Comme tous les appareils radiologiques existants actuellement dans le milieu de la dentisterie, les appareils cone beam sont également affectés par les artefacts (métal), le bruit et un contraste des tissus mous qui est insuffisant ce qui peut entraîner des distorsions ou des anomalies dans l'interprétation des résultats [5].

4. Les grands principes de radioprotection

1. Les éléments généraux

Les effets stochastiques des rayons X ne permettent pas la distinction entre une irradiation dangereuse ou non [9]. Plusieurs principes fondamentaux sont donc à respecter en vue de la réalisation d'un examen CBCT :

- les principes de justification et d'optimisation, à savoir démontrer la réelle nécessité de l'examen avec des bénéfices l'emportant sur les risques, avec une dose d'exposition la plus faible possible,
- le respect des règles de radioprotection, de contrôle qualité,
- la nécessité d'une formation spécifique à la réalisation des CBCT et d'une formation continue après qualification [4].

2. La justification

La justification consiste en la décision argumentée de la nécessité de réaliser l'examen radiologique pour le patient. En effet toute exposition à des rayonnements dans le domaine médical présente un risque minimal même si les risques découlant de la radiographie bucco-dentaire sont faibles. Les éléments justificatifs doivent être inscrits dans le dossier médical et conditionnent sa prise en charge par l'Assurance Maladie [10].

En 2009, l'Association Européenne de Radiologie Dento-Maxillo-Faciale a encouragé l'utilisation raisonnée des cone beam dans le domaine de la chirurgie dentaire, en rappelant l'analyse préalable des éléments suivants avant de prescrire un CBCT pour un patient :

- anamnèse et examen clinique du patient,
- justification de l'acte au regard de la balance bénéfices/risques: l'intérêt médical doit être supérieur au risque de l'utilisation des rayonnements ionisants,
- plus-value attendue pour la prise en charge du patient,
- qualité de la demande d'examen afin que le praticien exécutant puisse valider la procédure de justification,
- impossibilité d'obtenir une réponse adéquate par une radiographie dentaire conventionnelle moins irradiante [11].

La prescription d'un cone beam doit être précise et contenir le plus d'informations possibles :

- motif de réalisation,
- finalité de l'examen et la zone à explorer (en indiquant la ou les dents ou zones concernées),
- circonstances de l'exposition envisagée (ex: grossesse),
- examens ou actes antérieurement réalisés,
- toute information nécessaire au respect du principe d'optimisation.

Le cone beam est indiqué en chirurgie dentaire lorsque les informations fournies par l'examen clinique et la radiologie 2D ne sont pas suffisantes au diagnostic et à la thérapeutique et qu'une image 3D est indispensable. En 2011, l'Association Européenne pour l'Ostéointégration a précisé les indications de CBCT pré-chirurgicaux dans le domaine de l'implantologie :

- identifier les éléments anatomiques à risque et leurs limites et déterminer la distance minimale à maintenir avec l'implant,
- choisir le modèle et la taille d'implant le plus approprié et son emplacement,
- prévenir des lésions traumatiques neurovasculaires,
- repérer les difficultés esthétiques spécifiques aux secteurs antérieurs,
- identifier la morphologie osseuse locale, le volume et la qualité osseux,

- la nécessité de chirurgie pré-implantaire (augmentation du volume osseux, greffe osseuse, soulèvement de sinus),
- cas avec antécédent de traumatisme dentaire ou de l'ATM,
- cas avec pronostic incertain des dents adjacentes,
- planification pré-chirurgicale et guide [3].

Le code de la santé publique (article R 1333-66) rappelle que « tout acte radiologique doit donner lieu à un compte-rendu [...] » [4]. Le compte-rendu de l'examen radiologique nécessite les éléments suivants :

- l'identification du patient et du praticien exécutant,
- la date de l'examen,
- l'indication médicale de l'acte,
- la procédure technique en mentionnant la taille du champ utilisé, la résolution et l'estimation de la dose reçue,
- les résultats (description analytique de l'ensemble du volume acquis),
- la conclusion permettant de répondre au motif de prescription posée lors de l'indication [10].

3. L'optimisation

Le principe d'optimisation consiste à délivrer le faisceau de rayons X nécessaire pour obtenir une image de qualité suffisante en termes de contraste, bruit et détails pour être interprétable tout en exposant le patient au minimum de rayons X. Il serait simple de diminuer la dose de rayons à des niveaux très faibles pour protéger les patients mais en faisant cela la qualité des images radiologiques deviendrait médiocre et le résultat final inutilisable. Le patient subirait dans ce cas une irradiation sans aucun intérêt médical.

Ce constat a donné naissance au principe ALARA (As Low As Diagnostically Acceptable: aussi faible que diagnostiquement acceptable) appliqué dans le domaine de la santé publique qui a évolué en ALADAIP (As Low as Diagnostically Acceptable being Indication-oriented and Patient-specific: aussi faible que diagnostiquement acceptable en tenant compte de l'indication et du patient) [12]. Pour respecter ce principe, il faut trouver un équilibre entre la dose d'irradiation subie par le patient et le résultat radiologique souhaité [9].

Pour les équipements de CBCT cela implique que :

- Le champ d'exploitation doit être adapté à l'indication clinique de la zone d'intérêt sans s'étendre aux zones qui ne sont pas utiles au diagnostic,
- Les paramètres techniques (tension, ampérage, champ d'exploration) sont ajustés en fonction de chaque patient pour être les moins élevés possibles mais et être compatibles avec la qualité d'image recherchée,
- La taille du champ et la résolution seront choisies par le réalisateur de l'examen afin que la qualité de l'image soit adaptée au motif de la prescription. Il est recommandé d'avoir une taille de résolution minimale de 0,2 mm pour visualiser correctement les structures,
- Une maintenance et un contrôle régulier des appareils de CBCT,
- Une option de scan rapide doit être possible sur l'appareil pour des patients dont la compliance n'est pas optimale et le risque de mouvement est important (jeunes enfants, troubles cognitifs) [13].

4. La limitation

Le principe de limitation consiste, comme son nom l'indique, à limiter l'irradiation subie lors des actes radiologiques. Lorsque l'exposition est à visée médicale, le principe de limitation des doses ne s'applique pas pour les patients : seuls sont considérés les principes de justification et d'optimisation. Dans le domaine médical, il importe avant tout que les doses d'exposition soient suffisantes pour atteindre les informations diagnostiques recherchées [14,15].

2) L'usage du cone beam en implantologie dentaire

Toute chirurgie implantaire est au préalable précédée de plusieurs étapes cliniques indispensables qui permettent d'organiser la ou les séances chirurgicales, d'en minimiser les risques et de prévoir la restauration prothétique. Dans cette partie il ne sera abordé que les examens complémentaires radiologiques en vue d'une chirurgie implantaire.

1. Les étapes radiologiques pré-implantaires

1. Les examens radiologiques bidimensionnels : la radiographie rétro-alvéolaire et la radiographie panoramique

Avant de planifier la chirurgie implantaire, l'analyse des radiographies bidimensionnelles est nécessaire pour évaluer la hauteur osseuse approximativement disponible, la qualité osseuse du ou des sites à implanter et ainsi organiser la chirurgie implantaire et en minimiser les risques.

Les radiographies panoramiques et rétro-alvéolaires sont les clichés de première intention à réaliser, les radiographies rétro-alvéolaires étant plus précises et de meilleure qualité qu'un cliché panoramique qui subit une distorsion volumétrique plus importante.

Les zones et éléments anatomiques d'intérêt à observer ou mettre en évidence sont multiples :

- os alvéolaire :
 - densité osseuse,
 - hauteur d'os,
 - présence de lésions radio-claires: signe potentiel d'une infection, d'une résorption osseuse ou de kyste,
- éléments anatomiques en rapport avec la zone d'intérêt chirurgical :
 - structures anatomiques : paquets vasculo-nerveux, sinus maxillaires,
 - dents adjacentes: vérifier que la distance minimale de 1,5 mm à respecter entre les dents et l'implant à poser est présente (2 mm entre deux implants),
- présence d'éléments étrangers :
 - racines/apex résiduels,
 - gutta percha.

Le principal inconvénient des radiographies bidimensionnelles dans le cadre de l'implantologie en chirurgie dentaire est le manque d'information de la zone d'intérêt dans le sens vestibulo-lingual ou palatin [16].

2. Les examens radiologiques tridimensionnels: le cone beam

Le cone beam permet de compléter les examens complémentaires en phase de planification implantaire.

Pour les chirurgiens-dentistes impliqués dans la réhabilitation prothétique par solution implantaire, les informations issues des radiographies 3D sont utilisées pour le diagnostic mais également pour obtenir des informations nécessaires pour anticiper le placement de l'implant [12].

Les éléments précédemment cités pour les examens radiologiques bidimensionnels sont également à repérer dans les clichés issus des cone beams. D'autres sont spécifiques à cet examen radiologique qui permet de visualiser les trois plans de l'espace :

- os alvéolaire :
 - planifier l'angle et la profondeur de l'implant en respectant l'anatomie osseuse locale (volume osseux, densité osseuse, défauts osseux) du patient,
- éléments anatomiques en rapport avec la zone d'intérêt chirurgical :
 - évaluation précise des rapports et distance entre les éléments anatomiques ou étrangers et la position prévue de l'implant.

Les buts de cet examen radiologique sont multiples :

- évaluer la hauteur, l'épaisseur d'os alvéolaire disponible et la qualité osseuse,
- identifier la position des éléments neuro-vasculaires et leurs éventuelles variations anatomiques pour prévenir les lésions neuro-vasculaires,
- anticiper des difficultés spécifiques aux secteurs antérieurs esthétiques,
- planifier la chirurgie en fonction du projet virtuel prothétique et réaliser le guide chirurgical,
- communiquer avec le patient sur le traitement mis en place par une représentation virtuelle du projet de réhabilitation [16].

Selon les cas cliniques, le champ d'exploration, les paramètres d'irradiation et la résolution doivent être ajustés pour s'adapter au patient et se concentrer sur la zone d'intérêt chirurgical dans le but d'avoir une image de la meilleure qualité possible tout en irradiant au minimum [12]. La résolution, établie selon la taille des voxels des cone beam, est comprise entre 0,08 et 0,4 mm [17].

Les artefacts métalliques (amalgames, tenons radiculaires, couronnes, etc) diminuent la qualité des images obtenues. Diminuer le champ d'exploration peut permettre d'éviter d'intégrer ces éléments dans l'image et améliorer ainsi l'image radiologique. Dans la plupart des cas, un champ d'exploration petit ou moyen est suffisant pour la zone d'intérêt dans le domaine de l'implantologie [16].

Les patients sont positionnés debout lors de l'examen, la mâchoire calée sur un dispositif fixé à l'appareil. Les bijoux au niveau de la tête et du cou, les appareils amovibles et les lunettes sont retirés. L'absence de mouvement de la part du patient est importante pour obtenir une image nette [17]. Lorsque l'examen nécessite que les arcades dentaires ne soient pas en occlusion, des rouleaux de coton sont le plus souvent placés entre les arcades maxillaire et mandibulaire. Une gouttière occlusale placée en bouche peut également être utilisée. L'examen peut être réalisé avec le guide radiologique en bouche pour valider l'axe des implants. Une résolution de 200 μm est suffisante pour la fabrication d'un guide chirurgical [12].

Les données brutes obtenues par le CBCT sont stockées et transformées en volume par reconstruction d'image [18]. Les reconstructions au format DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) sont la référence internationale pour le traitement des fichiers radiologiques. Ce format permet d'échanger et de lire des données radiologiques de manière universelle. A partir de la reconstruction, le CBCT peut être utilisé avec un logiciel de planification implantaire pour simuler la position idéale de l'implant, sa longueur, sa largeur en fonction du cliché tridimensionnel et de la restauration prothétique implanto-portée [16].

3) Les éléments anatomiques visualisables sur CBCT d'un intérêt chirurgical en implantologie

1. L'arcade maxillaire

1. La région incisivo-canine

1 Les fosses nasales

La cavité nasale constitue la première partie du système respiratoire. Elle se situe au-dessus du palais dur, médialement aux sinus maxillaires droit et gauche, sous les os nasal, ethmoïde et sphénoïde. Elle s'ouvre en postérieur sur le nasopharynx. Le septum nasal sépare la cavité nasale en deux parties, les fosses nasales droite et gauche [19,20]

Une migration implantaire dans la cavité nasale en post-opératoire est extrêmement rare. Jusqu'à 2022, seulement cinq études dans la littérature ont reporté cette complication. Trois d'entre elles rapportent des cas où les implants ont migré dans la cavité nasale après avoir pénétré le sinus maxillaire (Figure 2, Figure 3 [21]) et les deux autres rapportent des cas où l'implant a directement migré dans la cavité nasale en perforant le plancher nasal [21-25].

Les conséquences de cette complication per ou post-opératoire sont variables et inconstantes: une gêne nasale, une odeur nasale désagréable, le développement d'un abcès nasal, des douleurs nasales d'intensité variable et des infections fongiques peuvent être observés.

L'extraction de l'implant migré par voie chirurgicale (intra-orale ou trans-nasale) est le traitement à effectuer. Cet acte est à réaliser le plus rapidement possible pour éviter que l'implant se déplace ailleurs et entraîne d'autres complications plus graves.

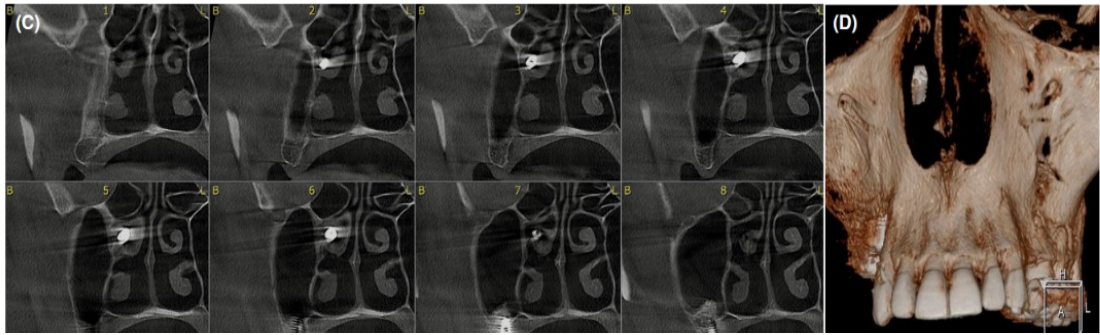


Figure 2: (C) Coupes dans le plan frontal des fosses nasales et du sinus maxillaire droit ; (D) Reconstitution en 3D du CBCT avec visualisation de l'implant migré [21].

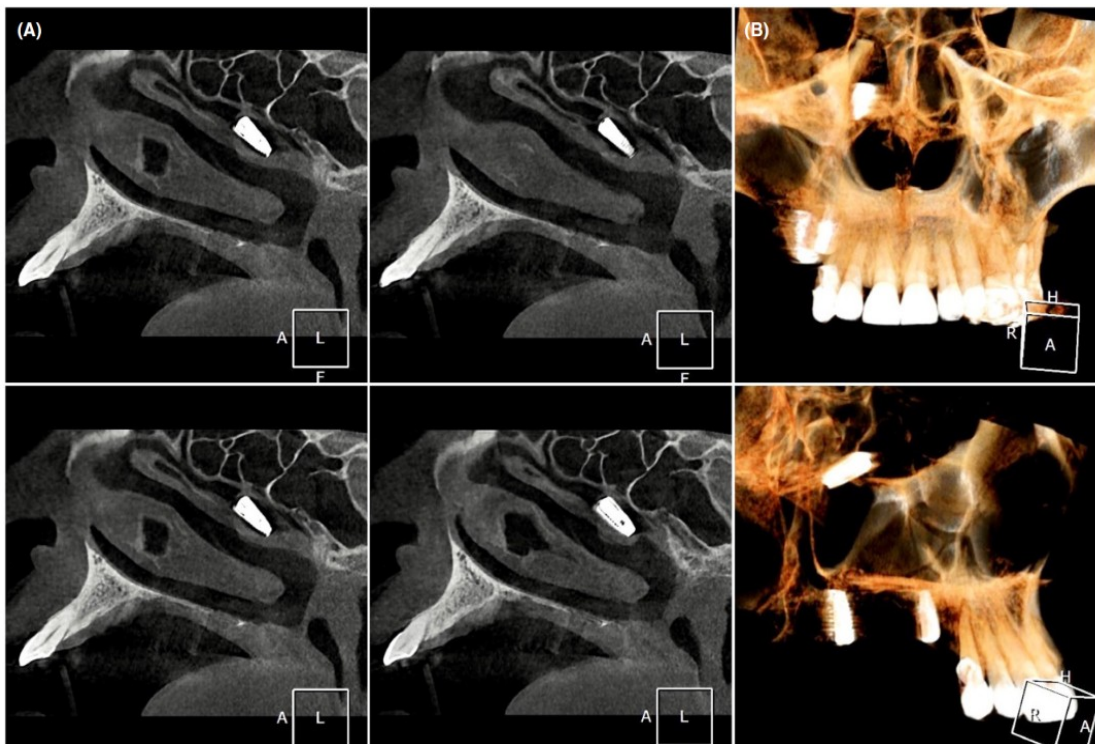


Figure 3: (A) Coupes des fosses nasales dans un plan parasagittal des fosses nasales mettant en évidence la position de l'implant ; (B) Reconstitutions en 3D du CBCT mettant en évidence la position de l'implant [21].

2 Le canal incisif maxillaire

Le canal incisif se situe entre les deux os maxillaires, postérieurement aux incisives maxillaires centrales, entre les cavités nasale et orale. Il contient le paquet vasculo-nerveux qui émerge par le foramen incisif dans la cavité orale.

Les variations morphologiques du canal incisif sont multiples. Elles ont été mises en évidence par une étude réalisée par Bahşi et al. Dans le plan sagittal, les formes de sablier, cône, entonnoir, banane, cylindrique et cône inversé ont pu être observées. Dans le plan frontal, la forme du canal incisif a été classée en 3 groupes : en Y, canal unique ou double canal. L'extrémité du canal naso-palatin peut prendre 4 formes différentes: U, Y, V, V inversé. Dans le plan axial, la morphologie du canal à mi-chemin a été observée: ronde, ovale, en forme de cœur ou triangulaire (Figure 4 , Figure 5) [26].

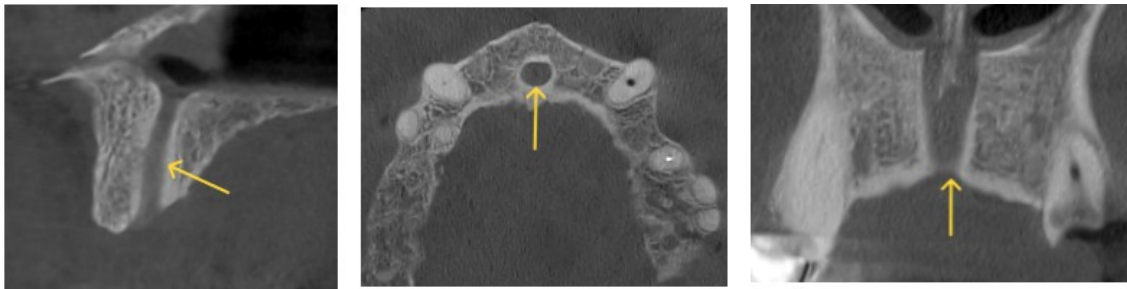


Figure 4: Coupes de cone beam illustrant un canal incisif maxillaire dans les plans sagittal, horizontal et frontal (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).

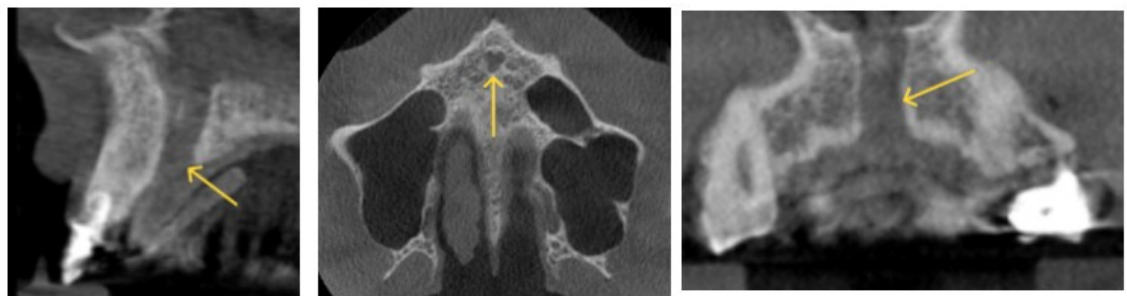


Figure 5: Coupes de cone beam illustrant un canal incisif maxillaire dans les plans sagittal, horizontal et frontal respectivement (images issues du service d'odontologie du CHU de Lille).

Ces fluctuations anatomiques du canal incisif maxillaire sont à repérer, notamment lors de la pose d'implants visant à remplacer les incisives centrales maxillaires, pour en rester à distance sur tout leur trajet et pour ne pas léser le paquet vasculo-nerveux. En cas d'effraction du canal, des complications telles que le saignement en per-opératoire, une dysesthésie temporaire post-opératoire de la zone innervée, une absence d'intégration implantaire et la formation d'un kyste du canal naso-palatin sont possibles [8].

3 Le canalis sinuosus

Le canalis sinuosus (ou canal sinueux en français) est un canal qui prend son origine à la moitié du parcours du canal infra-orbitaire, sur sa face latérale. Il contient le paquet vasculo-nerveux alvéolaire antéro-supérieur. Son trajet initial se décrit en direction du plancher orbitaire vers l'avant et le bas avant de suivre une courbe médiale et de longer la paroi antérieure du sinus maxillaire une fois passé sous le foramen infra-orbitaire [27]. La dernière partie du canal décrit une courbure au niveau de l'orifice piriforme puis longe la paroi latérale de la cavité nasale jusqu'à atteindre la partie antérieure du maxillaire. Le canal finit son trajet en se donnant plusieurs canaux accessoires étroits qui prennent la direction du secteur maxillaire antérieur (Figure 6 [28]). Le parcours total du canalis sinuosus est long d'environ 55mm [29].

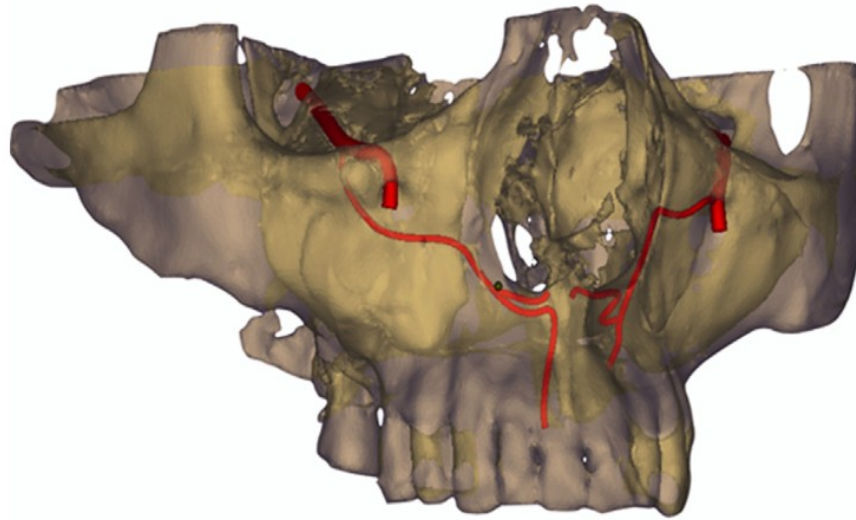


Figure 6: Reconstitution partielle 3D du massif facial (en rouge le trajet du nerf infra-orbitaire et du canalis sinuosus) [28].

Certaines études considèrent les canalis sinuosus comme une variation anatomique rare. Pourtant les résultats de plusieurs d'entre elles laissent présumer le contraire. L'étude menée par Samunahmetoglu et al a permis d'observer 577 canalis sinuosus chez 300 sujets [29]. Quant à l'étude réalisée par Aoki et al, elle a permis la détection d'un canalis sinuosus chez 66,5% des patients [30]. D'après cette même étude, 45,86% des sujets ont un canalis sinuosus unilatéral et 54,14% des sujets analysés ont un canalis sinuosus bilatéral.

La localisation des canaux accessoires du canalis sinuosus est variable et nécessite un examen radiologique minutieux. Les différentes études menées sont loin d'obtenir des résultats concordants concernant les zones anatomiques précises des canaux accessoires mais s'accordent cependant sur la localisation répartie dans le secteur antérieur maxillaire (Figure 7, Figure 8, Figure 9) [29,31-34]. Aucune différence statistiquement significative entre les genres ou selon l'âge n'a été mise en avant quant à la localisation des canaux accessoires [32].



Figure 7: Coupes de cone beam dans les plans frontal, parasagittal et horizontal illustrant un canalis sinusus gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).

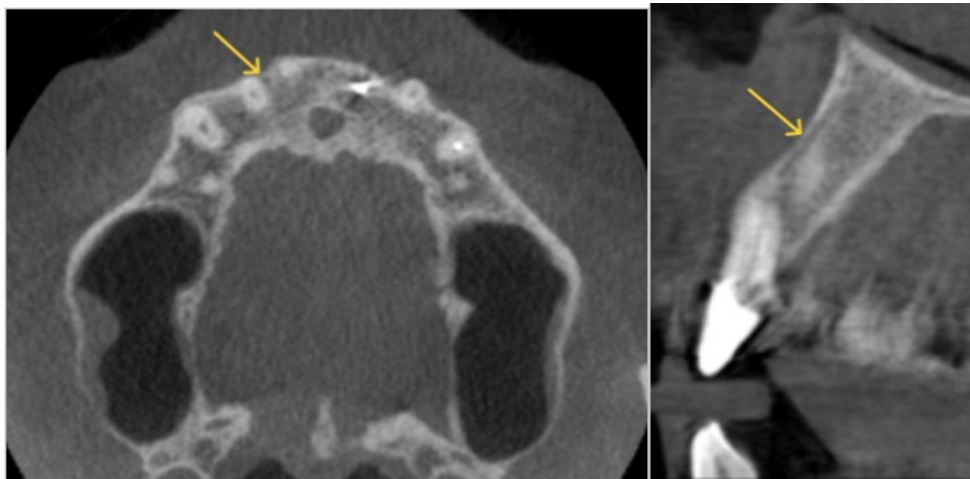


Figure 8: Coupes de cone beam dans les plans horizontal et sagittal illustrant un canalis sinusus droit (images issues du service d'odontologie du CHU de Lille).

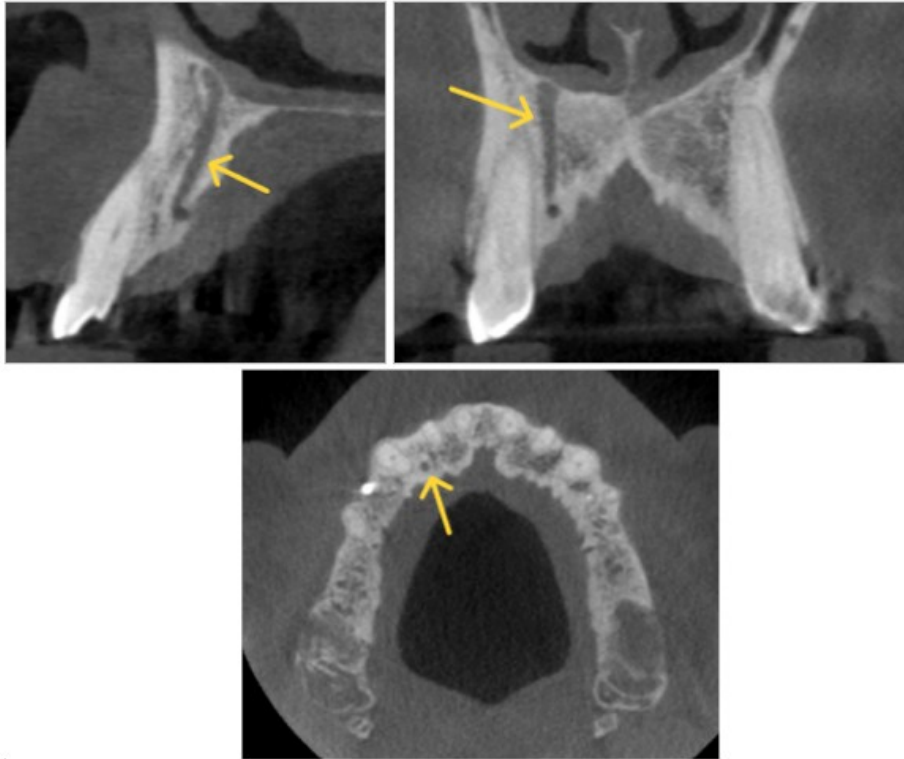


Figure 9: Coupes d'un cone beam dans les plans parasagittal, frontal et horizontal illustrant un canalis sinuosus droit (images issues du service d'odontologie du CHU de Lille).

Des lésions iatrogènes au canalis sinuosus occasionnent des complications multiples, dont notamment une ostéo-intégration compromise de l'implant, une douleur intense et une paresthésie unilatérale post-opératoires du site chirurgical. Ces complications s'intensifient dans le temps et ne sont résolues que par le retrait de l'implant iatrogène [35-37].

2. La région prémolo-molaire

1 Le sinus maxillaire

Les sinus maxillaires sont une paire de cavités faciales localisées au-dessus de la cavité buccale, en dessous des cavités orbitaires et en dehors des fosses nasales. Ce sont des cavités pneumatiques recouvertes par une couche d'épithélium, de forme pyramidale, le sommet étant latéral et la base médiale. Elles se drainent dans la cavité nasale (Figure 10, Figure 11) [38].

Les sinus maxillaires atteignent leur taille définitive vers l'âge de 18 ans. Le volume moyen d'un sinus maxillaire est estimé à environ 15 cm³, sans différence significative entre celui de droite et de gauche en situation physiologique. L'état de la dentition du patient peut cependant affecter le volume d'un sinus. Les CBCT de patients édentés des secteurs postérieurs maxillaires ont montré une augmentation du volume des sinus maxillaires, surtout chez les patients âgés de plus de 61 ans [39].

Les sinus maxillaires sont en relation étroite avec les apex des dents postérieures maxillaires (dite antrales). En cas de chirurgie implantaire dans cette région, les sinus peuvent être un obstacle anatomique si la hauteur de l'os disponible est faible.



Figure 10: Coupe de cone beam dans le plan horizontal illustrant des sinus maxillaires (images issues du service d'odontologie du CHU de Lille).

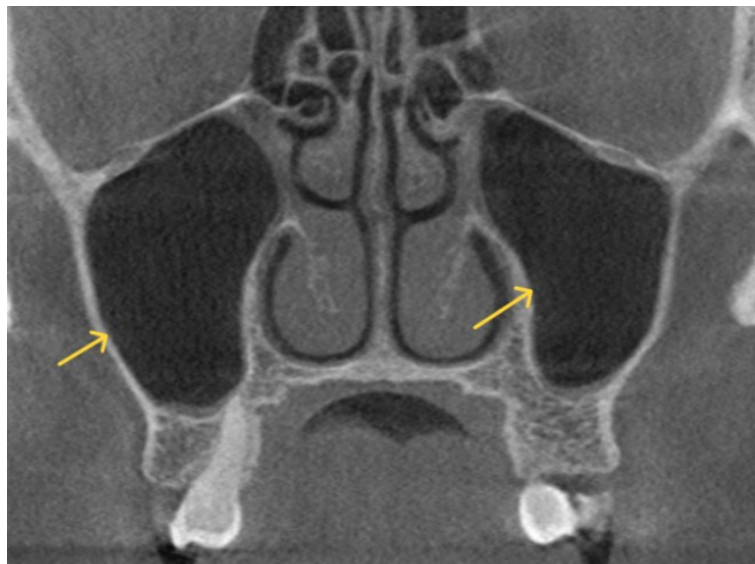


Figure 11: Coupe de cone beam dans le plan frontal illustrant des sinus maxillaires (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).

1. Les septa maxillaires

Un septum maxillaire est défini comme un prolongement intra-sinusien d'os cortical de hauteur supérieure à 2,5 mm, d'orientation et de localisation variables (Figure 12 [40], Figure 13, Figure 14). En 1910, Anderson écrit que des septa peuvent diviser le sinus en 2 cavités ou plus, ayant ou non des rapports entre elles.

Les septa maxillaires sont une variation anatomique fréquente des sinus maxillaires. La méta-analyse menée par Maestre-Ferrin et al a permis de mettre en avant une prévalence de septa allant de 13 à plus de 35% dans les sinus observés selon les différentes études [41,42].



Figure 12: Coupe de cone beam dans un plan parasagittal d'un sinus présentant un septum maxillaire [40].



Figure 13: Coupe d'un cone beam dans un plan horizontal illustrant un septa maxillaire dans un sinus maxillaire gauche (images personnelles provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).



Figure 14: Coupe d'un cone beam dans un plan parasagittal illustrant un septa maxillaire dans un sinus maxillaire gauche (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).

La présence de septa est un risque de complication en chirurgie implantaire, lors d'une pose d'implant ou d'un sinus lift. Leur présence a été identifiée comme facteur de risque de perforation de la membrane sinusienne (OR= 4.023) [43].

Toute atteinte à l'intégrité de la membrane peut entraîner une perte d'étanchéité du sinus vis-à-vis de la cavité orale et permettre une prolifération bactérienne. On peut retrouver comme conséquence une infection post-opératoire du site opératoire, une sinusite, une perte du greffon ou de l'implant, une altération du fonctionnement de la muqueuse sinusienne et donc une rétention des sécrétions et des bactéries dans le sinus à long terme.

Il est donc nécessaire de repérer les septa de manière systématique à l'imagerie. La radiographie panoramique est insuffisante pour cela. Kasabah et González-Santana ont trouvé un pourcentage respectif d'erreurs de 44,1% et 11,8% entre la détection des septas par panoramique et CBCT [41].

Malec et Pommer ont rapporté que les septa sont plus fréquents en regard des crêtes édentées par rapport aux zones dentées [44].

Les études ont démontré que la majorité des septas sont localisées de la zone en distal de la 2ème prémolaire à celle en distal de la 2ème molaire maxillaire [44]. La localisation la plus fréquente des septa maxillaires semble être dans la région médiane des sinus dans le sens antéro-postérieur, suivie par les régions postérieure puis antérieure [42].

L'orientation des septas la plus fréquemment observée est coronale (60% des cas). Plus de 63% des septas observés sont sur le plancher sinusien (Figure 12, Figure 14) [42,44].

2. L'artère alvéolo-antrale

L'artère alvéolo-antrale est une anastomose de l'artère alvéolaire supéro-postérieure et de l'artère infra-orbitaire, ces dernières étant des branches de l'artère maxillaire. Son trajet passe par la paroi latérale du sinus maxillaire et se repère par une radio-clarté en regard de cette paroi [45].

L'anastomose vascularise la membrane de Schneider, le periosteum et la paroi antéro-latérale sinusienne. Elle participe à la cicatrisation du site opératoire lors des procédures d'élévation sinusienne.

Différentes études ont été menées pour déterminer la distance entre la crête osseuse maxillaire et l'artère alvéolo-antrale. Les résultats ont été peu concordants car la diminution de la hauteur de l'os alvéolaire altère les données en cas d'édentement maxillaire.

L'artère alvéolaire postéro-supérieure existe sous 3 formes radiographiques :

- intra-sinusienne (Figure 15, Figure 16),
- intra-osseuse (Figure 17, Figure 18, Figure 19 , Figure 20),
- superficielle.

Elle est présente dans la majorité des cas sous forme intra-osseuse. Dans les études réalisées, la position superficielle est la position la moins fréquemment observée [46,47].

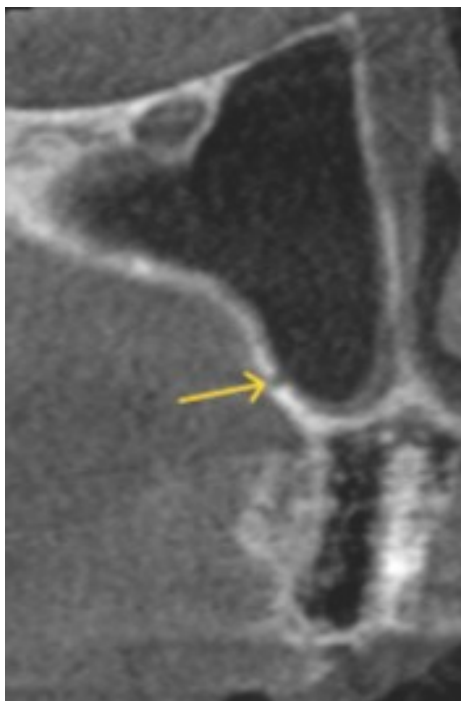


Figure 15: Coupe d'un cone beam dans un plan frontal illustrant l'artère alvéolo-antrale intra-sinusienne dans un sinus maxillaire droit (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).

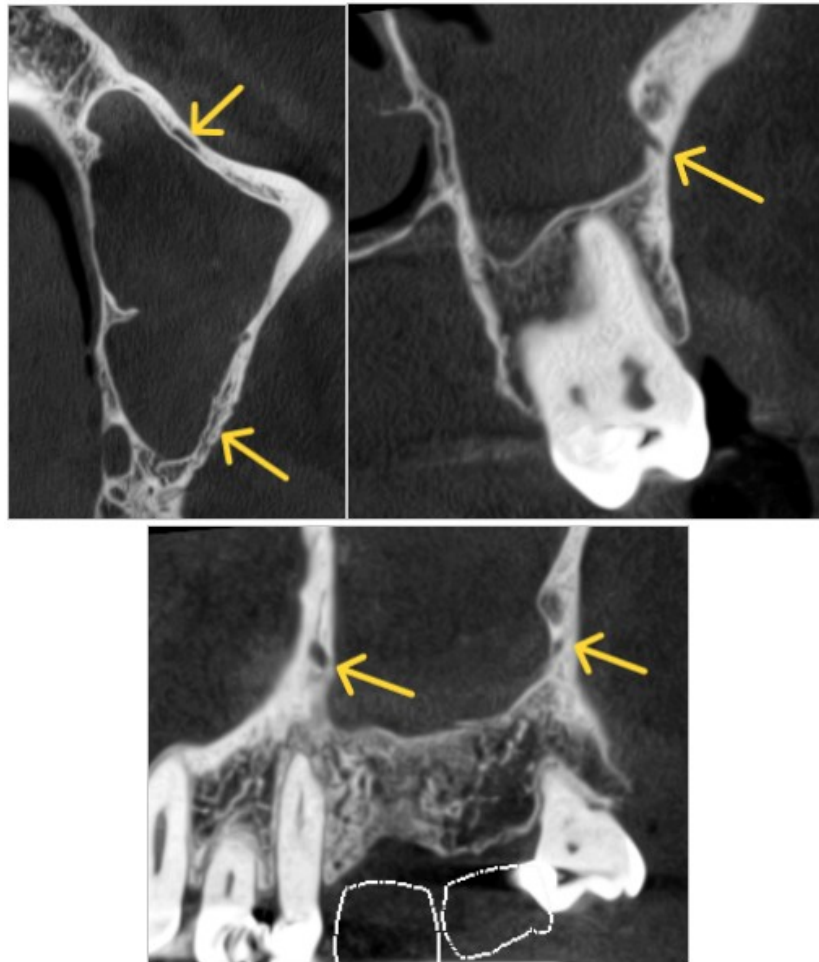


Figure 16: Coupes de cone beam dans les plans horizontal, frontal et parasagittal illustrant l'artère alvéolo-antrale intra-sinusienne dans le sinus maxillaire gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).



Figure 17: Coupe d'un cone beam dans un plan frontal illustrant l'artère alvéolo-antrale intra-osseuse dans un sinus maxillaire gauche (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).



Figure 18: Coupe de cone beam dans un plan horizontal illustrant l'artère alvéolo-antrale intra-osseuse dans le sinus maxillaire gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).



Figure 19: Coupe de cone beam dans un plan horizontal illustrant une artère alvéolo-antrale intra-osseuse droite (images personnelles provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).

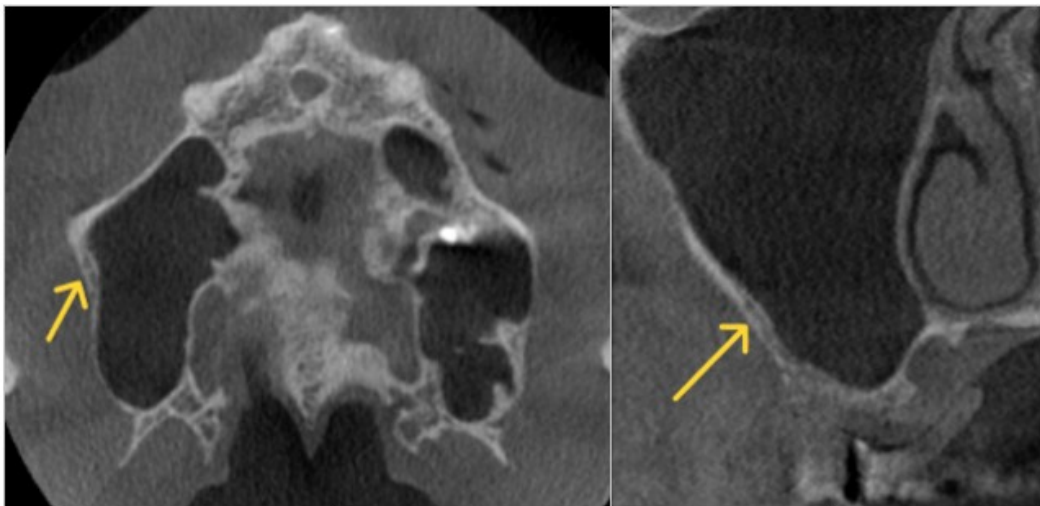


Figure 20: Coupes de cone beam dans un plan horizontal et frontal illustrant l'artère alvéolo-antrale intra-osseuse dans le sinus maxillaire droit (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).

Toute lésion de cette artère au cours d'une intervention chirurgicale entraîne un saignement per ou post-opératoire qui perturbe la visibilité de la zone chirurgicale. Le calibre de l'artère peut dépasser 3 mm de diamètre, expliquant des saignements importants lors de la chirurgie et donc une gestion de l'hémorragie plus complexe [47,48]. Une artère intra-sinusienne présente plus de difficultés pour contrôler une éventuelle hémorragie car une ostéotomie est nécessaire et le saignement important limite la visibilité au niveau du site opératoire [49].

2 Le foramen grand palatin

Le foramen grand palatin est un élément bilatéral et se situe dans la partie latéro-postérieure du palais dur. Il contient le vasculo-nerveux grand palatin et l'artère palatine descendante. Il est l'extrémité inférieure du canal grand palatin dont la longueur moyenne est de 29 mm [50].

Le foramen grand palatin est le plus fréquemment au même niveau que la limite entre les palais dur et mou. Il peut cependant se trouver antérieurement ou en postérieur de cette limite (Figure 21, Figure 22, Figure 23) [51].

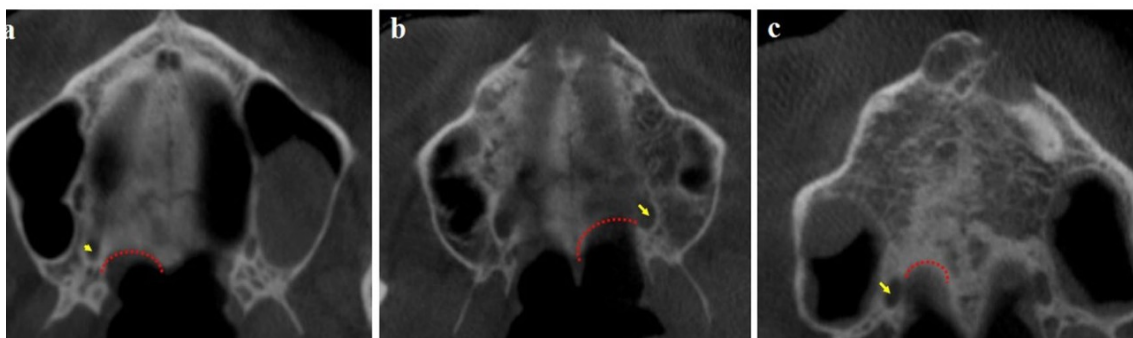


Figure 21: Coupes de cone beam dans des plans horizontaux illustrant la position du foramen grand palatin par rapport à la limite postérieure du palais dur: a) position antérieure; b) position en regard de la limite; c) position postérieure [51].

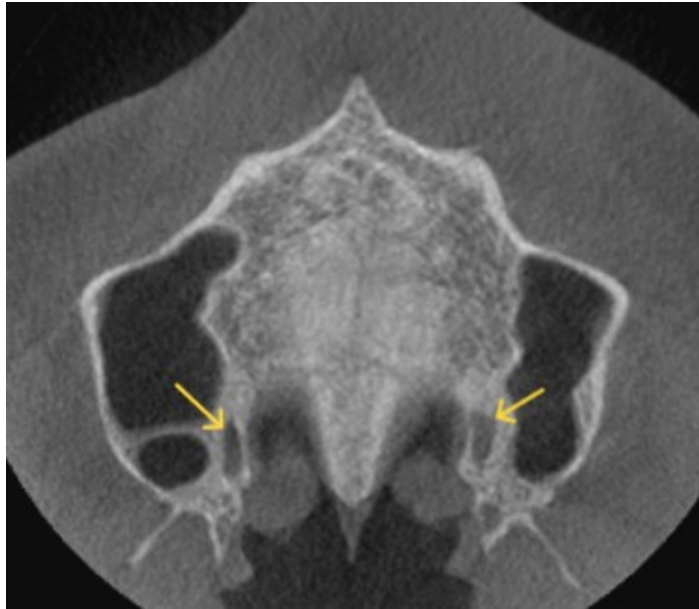


Figure 22: Coupe horizontale de cone beam illustrant 2 foramens grand palatin postérieurs à la limite entre palais dur et palais mou (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).

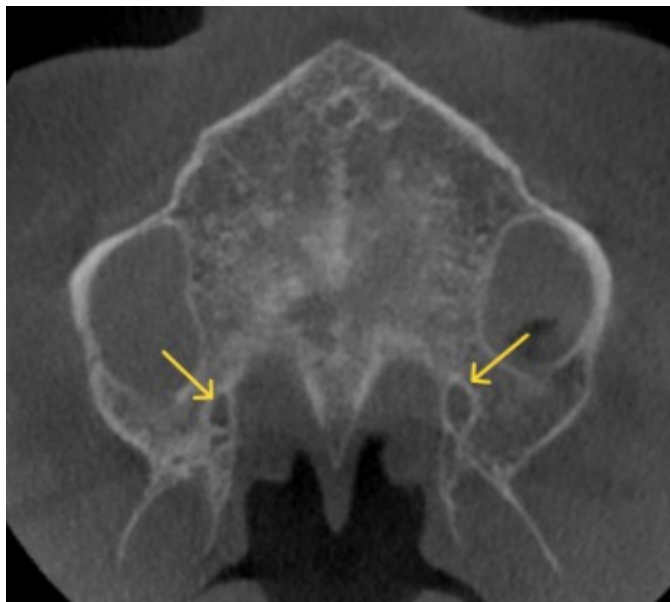


Figure 23: Coupe horizontale de cone beam illustrant 2 foramens grand palatin postérieurs à la limite entre palais dur et palais mou (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).

La distance séparant le plan sagittal moyen et le foramen grand palatin est d'environ 15 mm [50-52]. Ses repères par rapport aux dents sont variables. Il se trouve le plus souvent en mésial de la 3ème molaire maxillaire mais il peut se localiser en regard de la région mésiale de la 2ème molaire maxillaire à la région postérieure de la 3ème molaire maxillaire. Il se trouve à environ 20 mm du plan occlusal dentaire [52].

2. L'os mandibulaire

1. La région antérieure

1 Le foramen et canal lingual

L'artère sublinguale est une branche de l'artère linguale. Elle pénètre la mandibule par le foramen lingual. Le foramen lingual est localisé en lingual de la symphyse mandibulaire, au niveau du tubercule génien supérieur ou inférieur (Figure 24).

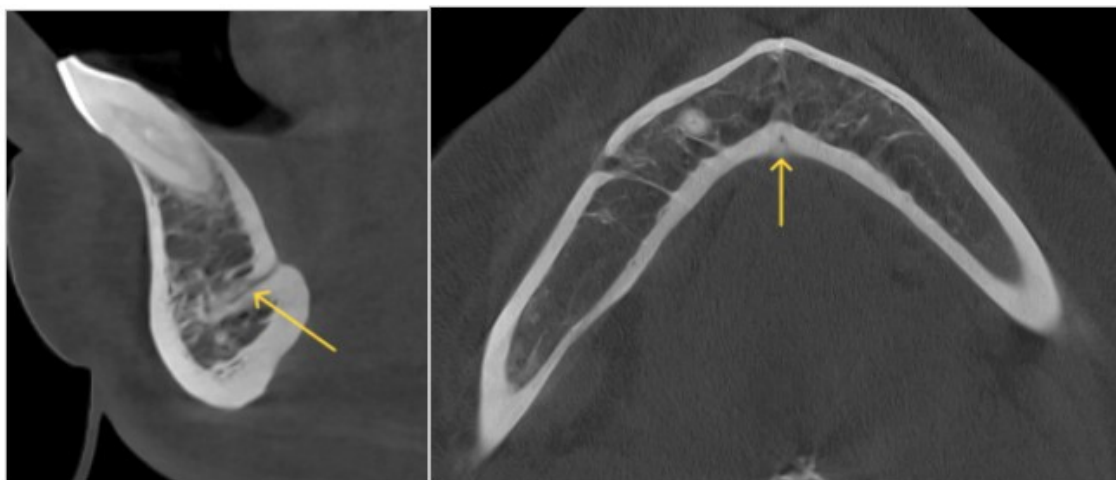


Figure 24: Coupes de cone beam dans les plans sagittal et horizontal illustrant un canal lingual médian (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).

La position du foramen lingual varie selon la résorption de l'os alvéolaire qui se produit après une extraction dentaire. Des variations anatomiques de ce foramen (localisation, nombre, diamètre) (Figure 25) et du canal lingual ont été observées dans de nombreuses études [53-55].



Figure 25: Coupe de cone beam dans le plan sagittal illustrant 2 canaux linguaux médians (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).

La direction linguo-vestibulaire des canaux linguaux empêche la visualisation de son trajet sur des radiographies 2D et nécessite la réalisation d'un CBCT lors de la planification chirurgicale [56].

Le foramen lingual est catégorisé de deux manières selon sa localisation par rapport à la mandibule: foramen lingual médian ou foramen lingual latéral [56]. Le canal lingual médian, dont l'orifice est le foramen lingual médian, contient les artères linguales et sublinguales, ainsi que les nerfs linguaux, incisifs mandibulaires et des branches des nerfs mylo-hyoïdiens [57]. Les artères sublinguales pénètrent dans l'os de la mandibule et s'anastomosent dans le tiers antérieur de l'épaisseur osseuse [55]. Le canal lingual latéral, dont l'orifice est le foramen lingual latéral, contient un paquet vasculo-nerveux provenant des artères submentale et alvéolaire inférieure et du nerf alvéolaire inférieur.

Une atteinte de ces artères est le plus souvent due à une perforation de la corticale linguale par l'implant ou le forêt. Une lésion artérielle provoque une hémorragie dont la gravité est variable selon la localisation. Une hémorragie intra-osseuse se contrôle par une compression locale, par exemple par l'implant en lui-même. Si l'hémorragie est extra-osseuse, il faut procéder à une hémostase par compression, appliquer des produits hémostatiques et exécuter une ligature vasculaire. Un saignement et un hématome importants peuvent apparaître au niveau du plancher buccal dans l'espace submandibulaire, repoussant la langue et le plancher buccal et créant ainsi un risque majeur d'obstruction des voies aériennes dans les heures suivant l'intervention qui nécessite une intubation ou une trachéotomie en urgence pour protéger les voies aériennes. Le retrait de l'implant déjà mis en place est inutile pour prendre en charge l'hémorragie [48].

Dans l'étude menée par Silvestri chez des sujets édentés à la mandibule, 76,4% sont des foramens linguaux médians et 23,6% des foramens linguaux latéraux [57]. Tous les sujets de l'étude ont présenté au moins un foramen lingual, résultat concordant avec les études de Wang et Lakha et al [54,58]. Aucune différence statistiquement significative n'a été démontrée sur le nombre de foramens en fonction du genre ou de l'âge des patients.

Parmi les foramens identifiés, plus de la moitié donnaient suite à un canal dont l'orientation se faisait vers le haut (54%) et sont donc à risque d'être en contact avec un implant dentaire posé dans le secteur mandibulaire antérieur. 21% des canaux avaient une orientation horizontale (Figure 26), 36,6% vers le bas (Figure 26, Figure 27) et 2,6% verticale.



Figure 26: Coupe de cone beam dans le plan sagittal illustrant 2 canaux linguaux médians dont les orientations sont respectivement vers le bas et horizontale (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).



Figure 27: Coupe de cone beam dans le plan sagittal illustrant un canal lingual médian dont l'orientation est vers le bas (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).

2 Le canal incisif mandibulaire

Le canal incisif mandibulaire contient le nerf incisif mandibulaire, branche terminale intra-osseuse du nerf alvéolaire inférieur, responsable de l'innervation des dents antérieures mandibulaires.

Situé en mésial du foramen mentonnier, il est dans la continuité du canal mandibulaire. Il est bilatéral et est plus étroit que le foramen mentonnier. Son trajet s'oriente vers l'avant et le dedans (Figure 28 [59], Figure 29 [60], Figure 30, Figure 31, Figure 32). Des auteurs ont obtenu des résultats variables qui supputent que des origines ethniques influencent la position du canal incisif mandibulaire [61].

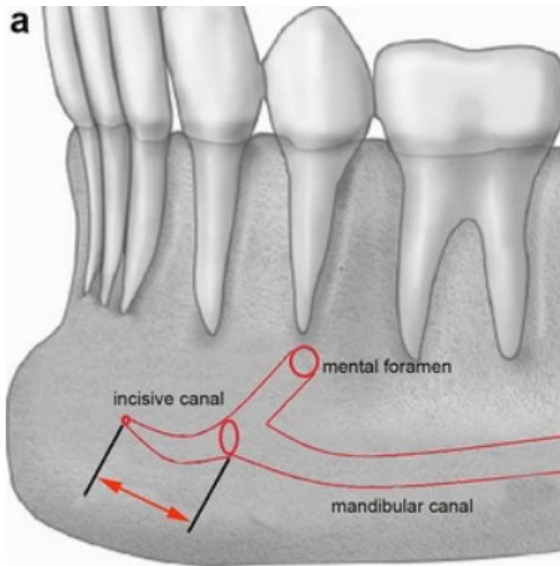


Figure 28: Schéma de la division du canal mandibulaire côté gauche [59].

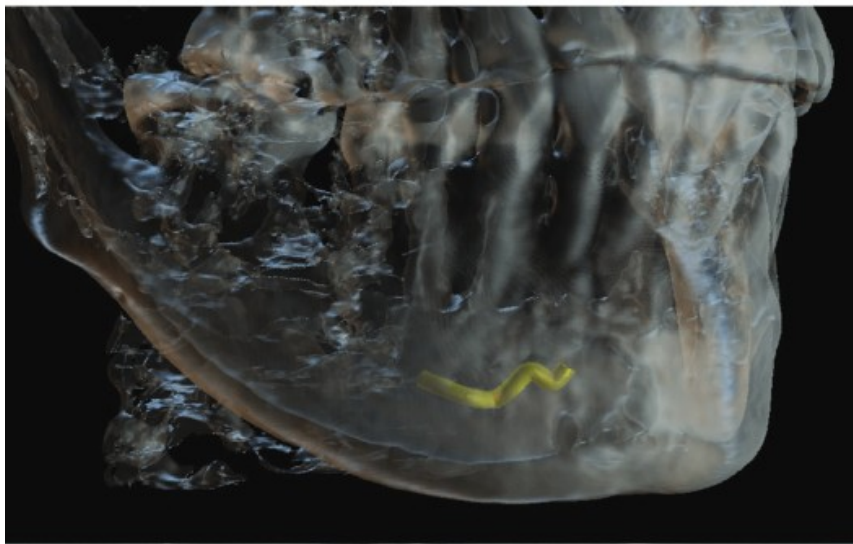


Figure 29: Représentation 3D du canal incisif droit (en jaune) [60].

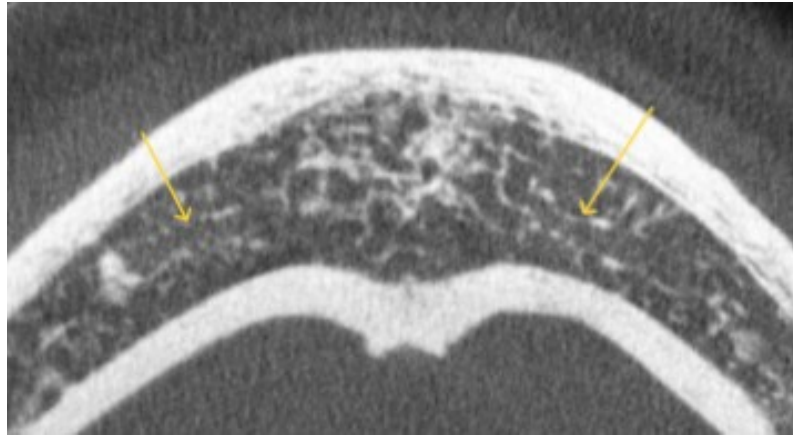


Figure 30: Coupe horizontale de cone beam illustrant des canaux incisifs mandibulaires bilatéraux (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).

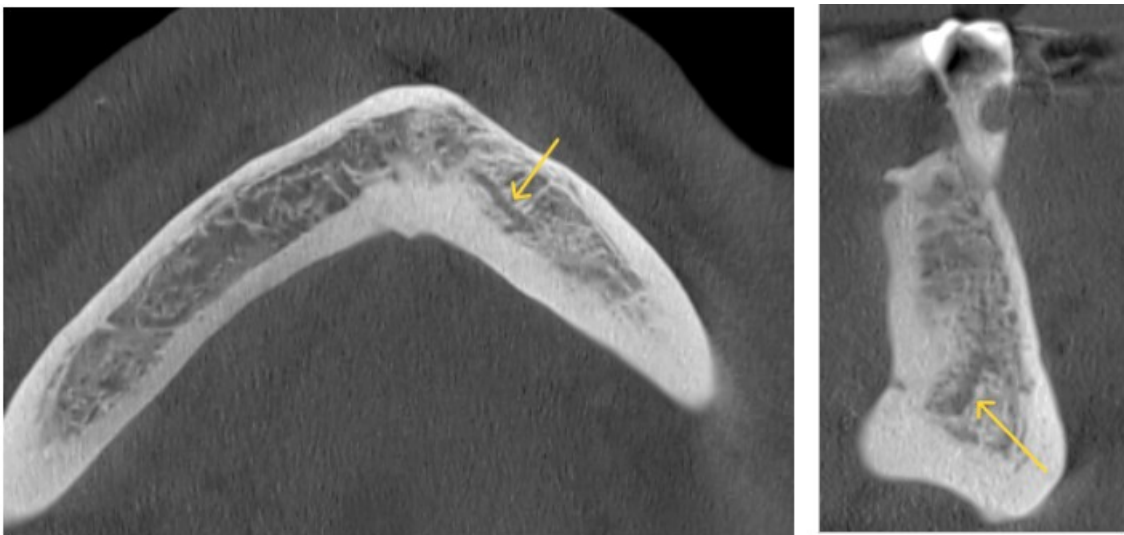


Figure 31: Coupes de cone beam dans les plans horizontal et frontal illustrant un canal incisif mandibulaire gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).



Figure 32: Reconstitution panoramique d'un cone beam illustrant un canal incisif mandibulaire gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).

Selon l'étude réalisée par Panjnoush et al, dans plus de 97% des cas le canal incisif a pu être identifié [62]. Cette valeur a été également retrouvée dans l'étude menée par Alshamrani et al [63]. Il était bilatéral dans 94% de l'ensemble des cas. Barbosa et al ont obtenu dans leur étude des valeurs inférieures: prévalence du canal incisif mandibulaire: 76.3% [64].

Le diamètre du canal incisif diminue progressivement le long de son trajet dans la mandibule mais ne varie pas en fonction de l'édentement éventuel du patient [65]. Le diamètre initial du canal est néanmoins plus élevé chez les sujets plus jeunes (moins de 36 ans) par rapport à ceux plus âgés [60].

Les complications per et post-opératoires susceptibles de se produire en cas de lésion neuro-vasculaire du canal incisif sont un saignement per-opératoire, une hémorragie, un hématome, un oedème, des douleurs neuropathiques, des troubles neuro-sensoriels post-opératoires de type dysesthésie et un échec de l'ostéointégration dans le cas d'une pose d'implant [66].

2. La région postérieure

1 Le foramen mentonnier

Le foramen mentonnier est un élément anatomique bilatéral et correspond à l'extrémité antérieure du canal mandibulaire. Le nerf alvéolaire inférieur s'y divise en deux branches terminales : le nerf mentonnier et le nerf incisif. Ils sont accompagnés par leurs vaisseaux correspondants.

Le foramen mentonnier est situé sur la paroi latérale de la mandibule (Figure 33, Figure 34). La position du foramen par rapport aux apex dentaires varie dans le plan sagittal de la première prémolaire à la première molaire mandibulaire. Les localisations les plus fréquentes du foramen mentonnier sont en regard de la seconde prémolaire et l'espace entre les prémolaires (respectivement 57,75% et 31,75% des cas). Dans 71% des cas, le foramen mentonnier est symétrique [62]. Sa position dans le plan frontal dépend de la résorption alvéolaire. Dans le cadre d'une résorption osseuse avancée chez le patient totalement édenté, il peut se situer au sommet de la crête en rapport (Figure 35 [67]). Sa détection radiographique est généralement facile sur les radiographies panoramiques ou tomodynamométriques.



Figure 33: Coupes de cone beam dans les plans horizontal, para sagittal et frontal illustrant un foramen mentonnier gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).

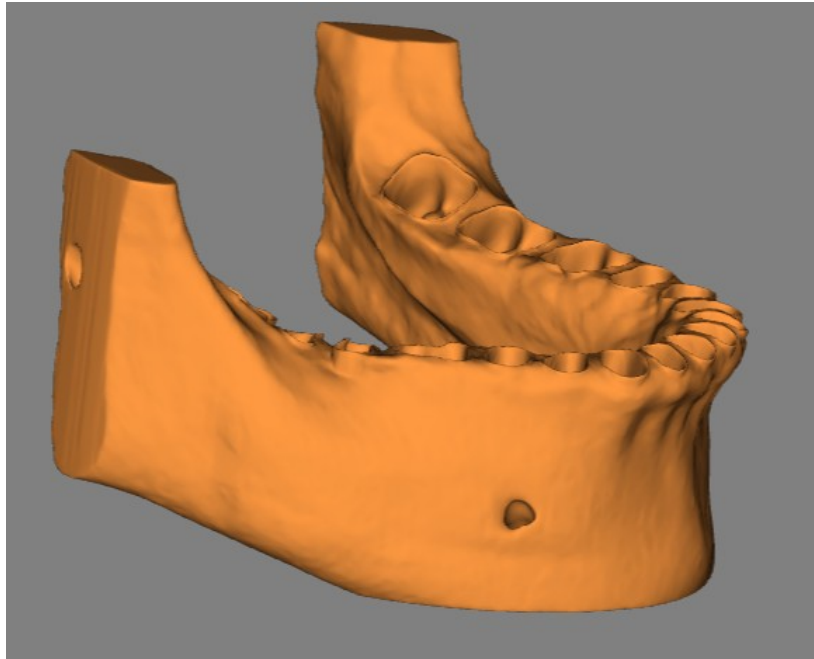


Figure 34: Reconstitution en 3D via le logiciel Relu d'un cone beam mettant en avant le foramen mentonier droit (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).

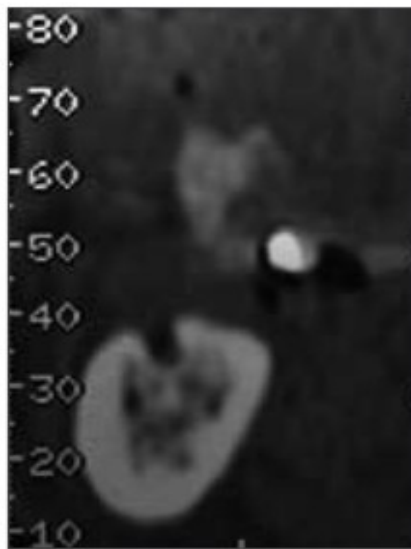


Figure 35 : Coupe d'un cone beam dans le plan frontal illustrant la position du foramen mentonier au sommet de la crête osseuse [67].

2 La boucle antérieure du nerf mentonnier

La présence d'une boucle antérieure décrite par le nerf mentonnier au-delà du foramen mentonnier a été décrite dans la littérature (Figure 36 [68], Figure 37).

Sa présence est inconstante mais très fréquente [69]. Elle est détectée dans environ 30% des cas à la radiographie panoramique. Il convient donc d'effectuer des clichés radiographiques tridimensionnels pour visualiser cette structure. Cette variation anatomique a été observée sur CBCT dans 93.57% des cas par Yang et al et dans plus de 85% des cas pour Lu et al [70,71].

La longueur totale de la boucle antérieure du nerf mentonnier peut s'étendre de 0,89 à 7,61 mm. La longueur moyenne est très variable selon les études réalisées. Il n'est donc pas possible d'indiquer une estimation précise de la longueur de cette boucle sur laquelle les praticiens peuvent s'appuyer [71-74].

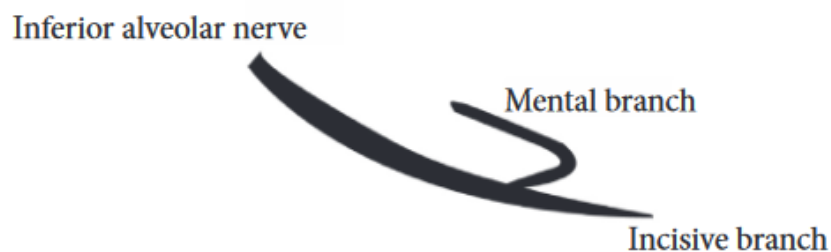


Figure 36: Schéma de l'anatomie nerveuse en regard du foramen mentonnier [68].



Figure 37: Reconstitution panoramique d'un cone beam illustrant la boucle antérieure du nerf mentonnier côté gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).

3 Le canal mandibulaire

Le canal mandibulaire prend naissance au niveau de la lingula située sur la face médiale du ramus et chemine dans la mandibule d'avant en arrière, de dedans en dehors, vers le foramen mentonnier. Large d'environ 2 mm de diamètre, il contient les nerf, artère et veine alvéolaires inférieurs (Figure 38, Figure 39).

La position de ce canal est variable tout au long de son trajet. Au contact de la corticale linguale au début de son trajet, il s'oriente vers le dehors progressivement d'arrière en avant et se dirige vers la corticale externe en fin de trajet. Dans le plan vertical, le canal décrit une courbe concave vers le haut (Figure 40).

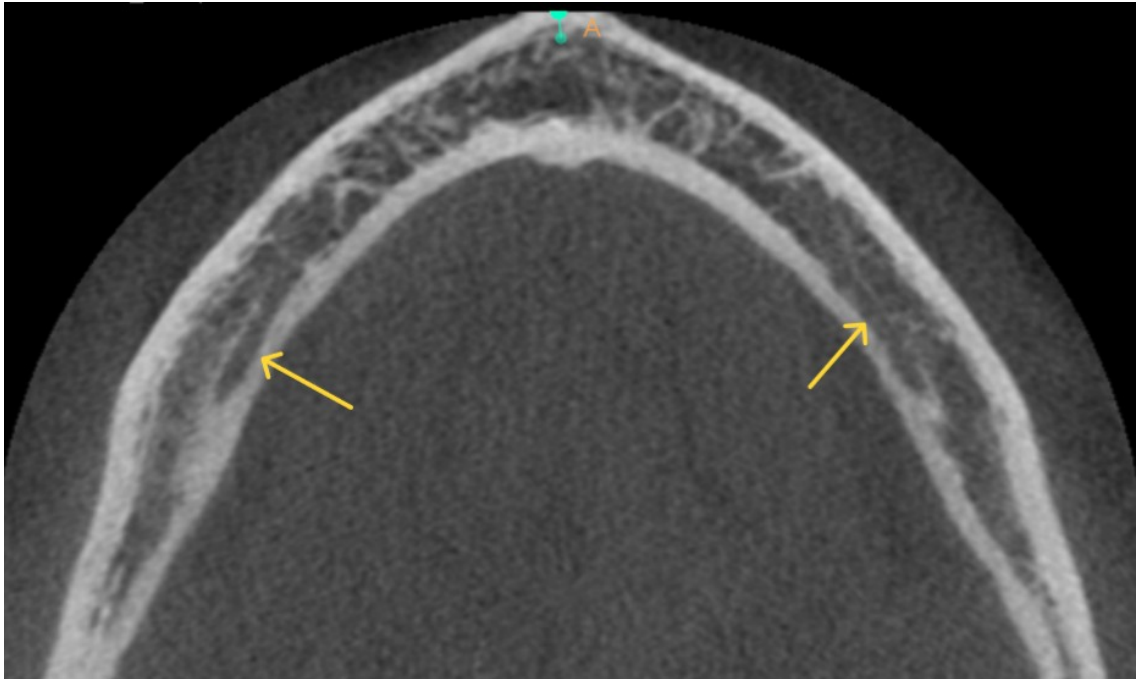


Figure 38: Coupe horizontale de cone beam illustrant des canaux mandibulaires droit et gauche (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).



Figure 39: Coupe frontale de cone beam illustrant un canal mandibulaire droit dans le plan frontal (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).

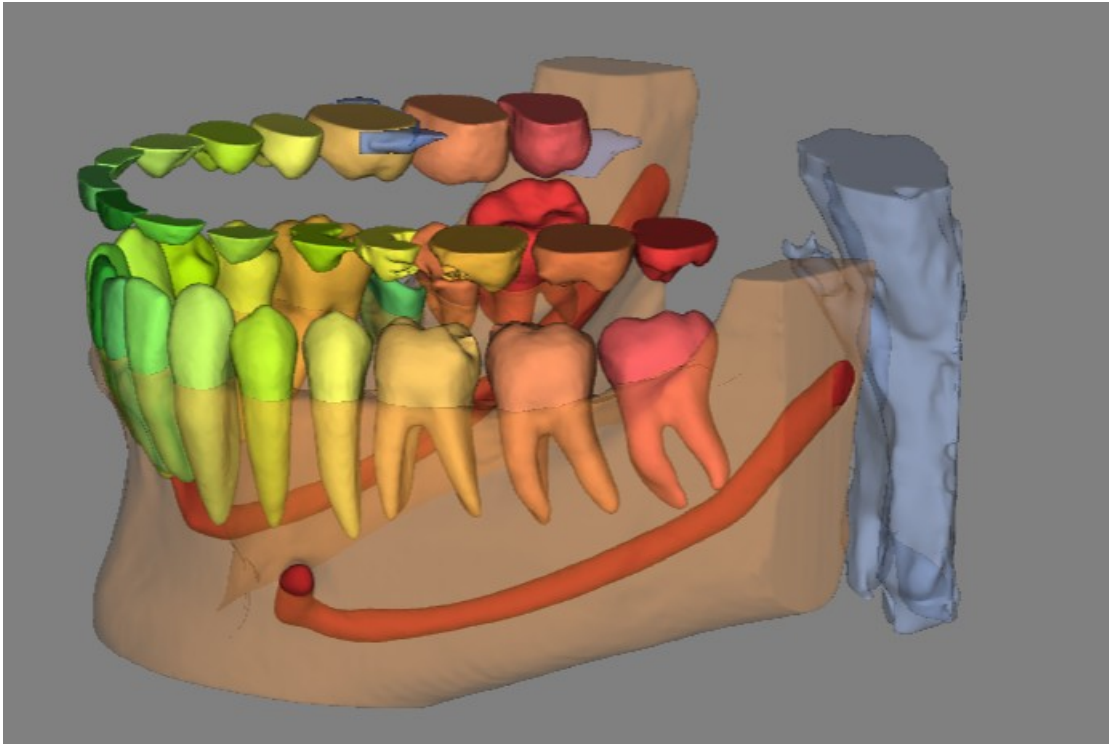


Figure 40: Reconstitution en 3D via le logiciel Relu d'un cone beam illustrant le trajet du canal du nerf mandibulaire gauche (en rouge) dans l'os mandibulaire (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).

Repérer le canal mandibulaire et ses variations anatomiques si elles sont présentes est nécessaire lors de la préparation d'une chirurgie implantaire au niveau des secteurs postérieurs l'arcade mandibulaire. La présence d'un canal mandibulaire bifide ou trifide augmente en effet le risque de lésion neuro-vasculaire.

Varvara a mené une étude sur un échantillon de 300 sujets européens pour déterminer la prévalence et la configuration des canaux mandibulaires bifides à l'aide de CBCT [75]. La classification de Naitoh a été utilisée dans cette étude pour décrire les variations anatomiques.

Naitoh et al sépare les canaux mandibulaires bifides en 4 catégories [76]:

- type 1: le canal bifide est localisé au niveau de la zone rétromolaire, près de l'os cortical (Figure 41 [77]),
- type 2: le canal bifide rejoint le canal d'une molaire. Trois sous-divisions existent pour ce type de canal en fonction de la molaire concernée (Figure 42 [77]),
- type 3: le canal bifide suit le trajet du canal mandibulaire principal (Figure 43 [77], Figure 44),
- type 4: le canal bifide suit un trajet en direction lingual ou vestibulaire (Figure 45).

Des variations anatomiques du canal mandibulaire de type canal bifide ont été identifiées chez 50,3% des sujets de l'étude de Varvara et dans 7,3% des cas de manière bilatérale.

Le type de canal bifide le plus fréquemment observé est le canal de type 3 (40,5% des cas) dont plus de la moitié sont confluents (51,5%). On retrouve ensuite par ordre décroissant de fréquence le canal de type 1 (39,3% des cas), de type 2 (14,5% des cas) et pour finir de type 4 (5,9% des cas). Ces proportions de variations anatomiques ont également été trouvées par Elnadoury et al [77].

Une nouvelle étude de l'anatomie des canaux bifides admet le canal rétromolaire (type 1 de la classification établie par Naitoh) comme une branche à part entière du canal mandibulaire et définit comme canal bifide un canal intra-osseux dont le trajet est parallèle au canal mandibulaire principal, confluent ou non avec ce dernier.

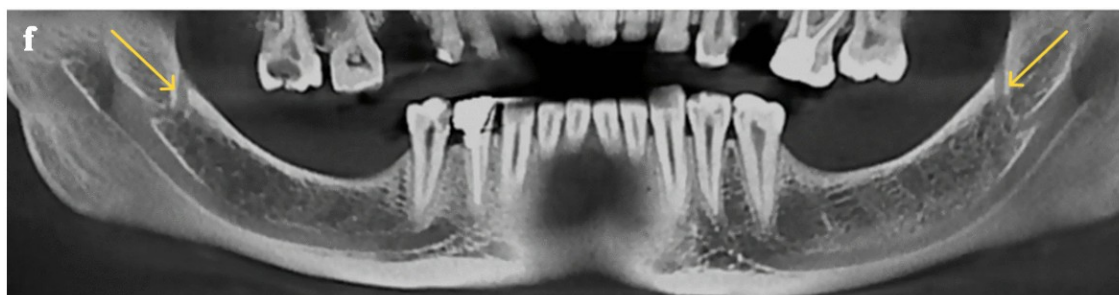


Figure 41: Reconstitution panoramique d'un cone beam illustrant un canal mandibulaire bilatéral de type 1 [77].

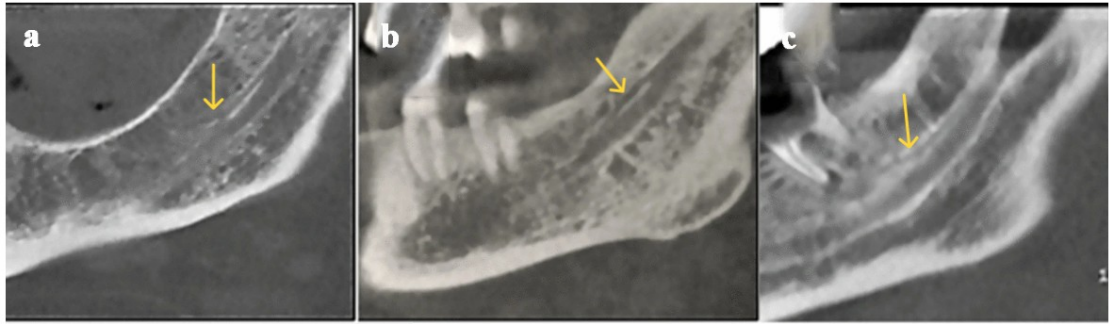


Figure 42: Reconstitutions panoramiques de cone beams illustrant des canaux mandibulaires gauches de type 2 [77].

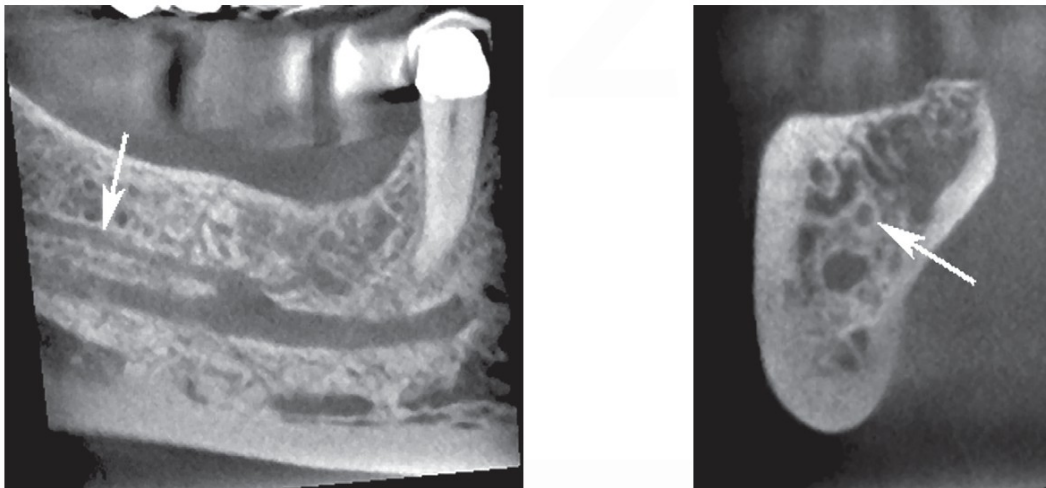


Figure 43: Reconstitution panoramique et coupe dans le plan frontal d'un cone beam illustrant un canal mandibulaire droit de type 3 [77].



Figure 44: Coupe dans un plan frontal d'un cone beam illustrant un canal mandibulaire droit bifide de type 3 (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).



Figure 45: Coupe d'un cone beam dans le plan frontal illustrant un canal mandibulaire de type 4 (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).

4 La fosse submandibulaire

La concavité linguale dans la région postérieure de la mandibule (Figure 46, Figure 47) est fréquente mais n'est un obstacle en chirurgie implantaire que dans une minorité des cas. Elle se retrouve le plus souvent au niveau de la deuxième molaire mandibulaire [78].

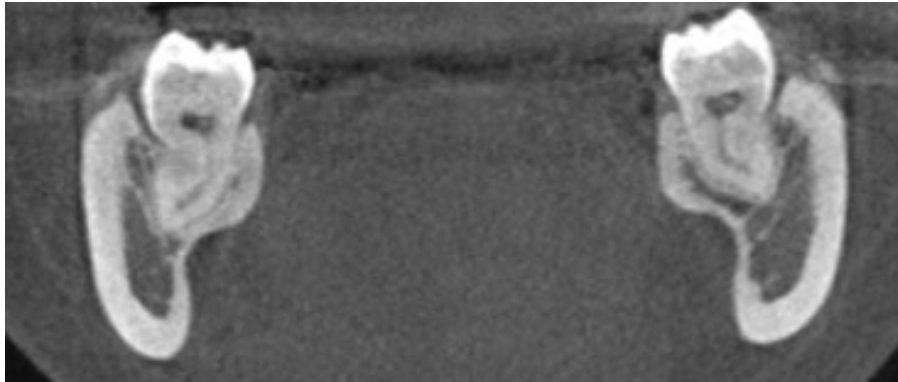


Figure 46: Coupe de cone beam dans le plan frontal illustrant une concavité mandibulaire droite et gauche (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).

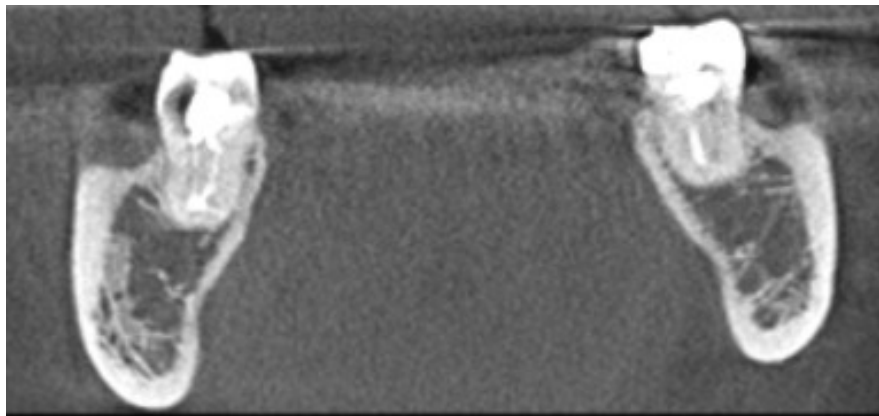


Figure 47: Coupe de cone beam dans le plan frontal illustrant une concavité mandibulaire droite et gauche (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).

Des implants plus courts ou un axe de forage incliné peuvent être une solution pour réaliser la chirurgie implantaire chez les patients présentant cette variation anatomique mais ces deux options ont des inconvénients : un ratio couronne/vis de l'implant réduit voire défavorable et une occlusion de la restauration prothétique potentiellement inadaptée (Figure 48) [78].

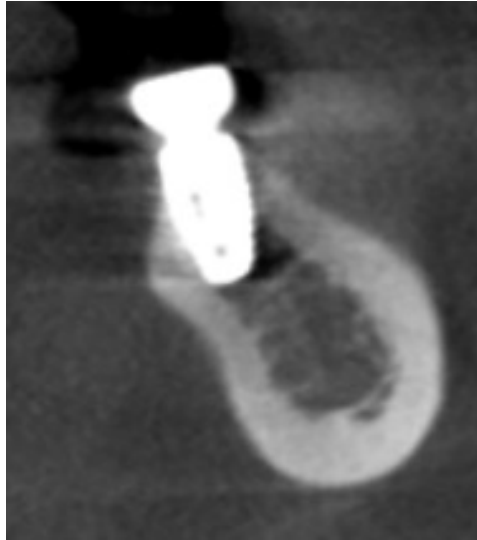


Figure 48: Coupe de cone beam dans le plan frontal d'une branche horizontale gauche de la mandibule illustrant la concavité mandibulaire en regard d'un implant en place de 37 (images obtenues dans le service d'odontologie du CHU de Lille).

L'effraction de la corticale linguale mandibulaire (Figure 49 [79]) durant la pose de l'implant peut entraîner deux complications pour le patient: l'infection de l'espace sous-mandibulaire et l'hématome du plancher buccal, notamment provoqué par une lésion de l'artère submentale ou sublinguale [78]. Ce type d'hématome peut compromettre la ventilation par les voies respiratoires en provoquant un œdème, une élévation du plancher lingual et une dyspnée. Une hospitalisation est alors nécessaire pour prendre en charge le patient [67,78].

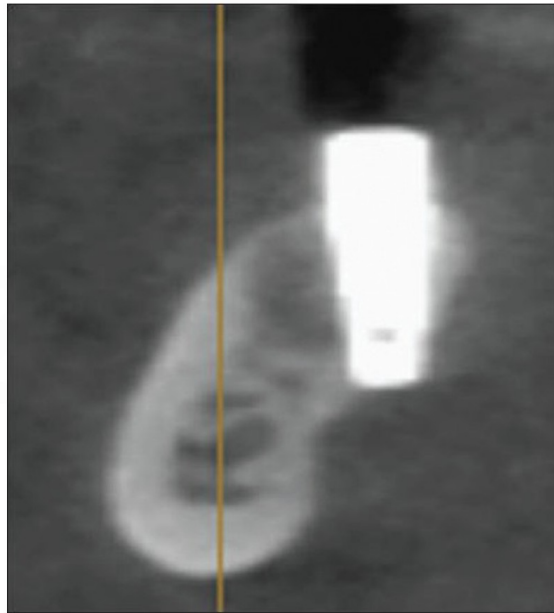


Figure 49: Coupe de cone beam dans le plan frontal illustrant la perforation de la corticale linguale par un implant dentaire à droite [79].

Conclusion

La chirurgie implantaire dentaire, bien que largement répandue et très efficace, comporte des risques inhérents liés à la proximité de structures anatomiques importantes. L'identification de ces éléments à risque est essentielle pour minimiser le risque de complications et promouvoir le succès à long terme des implants.

L'essor du CBCT marque une étape importante dans l'évolution de la chirurgie dentaire moderne. Les implications de ces avancées pour l'avenir de l'implantologie sont prometteuses, avec pour objectif une sécurité accrue pour les patients. La tomographie volumique à faisceau conique (CBCT) a émergé comme un outil indispensable pour les chirurgiens. Ce type de radiographie permet une visualisation rapide et précise de structures anatomiques dans les 3 plans de l'espace, une planification chirurgicale optimisée, une réduction des complications per et post-opératoires liées à des lésions d'éléments anatomiques. Les capacités de diagnostic et de planification offertes par l'examen CBCT permettent d'anticiper des complications associées aux interventions implantaires, assurant ainsi de meilleurs pronostics pour les patients.

Cependant, il est essentiel de poursuivre les recherches pour affiner encore les techniques d'imagerie et d'analyse pour intégrer ces innovations dans les protocoles cliniques. La connaissance de l'anatomie orale est indispensable pour utiliser cette technologie optimale. Il est nécessaire de connaître les zones à risque, les éléments anatomiques qui y sont localisés et leurs éventuelles variations existantes.

Ainsi, l'implantologie dentaire et l'imagerie CBCT représentent une synergie dans la pratique actuelle de la chirurgie dentaire. Cette technologie a permis d'améliorer la sécurité et l'efficacité des interventions chirurgicales en permettant une approche plus personnalisée des traitements. L'évolution continue des techniques d'imagerie et des logiciels qui y sont associés promet de rendre l'implantologie dentaire encore plus précise et accessible, contribuant à l'amélioration de la qualité de vie des patients.

Bibliographie

1. Cavézian R. Évolution historique du concept implantaire : passé, présent et futur des moyens prédictifs d'imagerie. Société Fr Hist Art Dent. 2007;(12).
2. Scarfe W, Li Z, Aboelmaaty W, Scott S, Farman A. Maxillofacial cone beam computed tomography: essence, elements and steps to interpretation. Aust Dent J. 2012;57(s1):46-60.
3. Feragalli B, Rampado O, Abate C, Macrì M, Festa F, Stromei F, et al. Cone beam computed tomography for dental and maxillofacial imaging: technique improvement and low-dose protocols. Radiol Med (Torino). 1 août 2017;122(8):581-8.
4. HAS. Tomographie volumique à faisceau conique de la face (cone beam computerized tomography): avis sur les actes [Internet]. 2009 [cité 20 mars 2024]. Disponible sur: https://www.ameli.fr/sites/default/files/Documents/avis_cone_beam_2009-12-28_17-32-47_634-3.pdf
5. Scarfe WC, Farman AG. What is Cone-Beam CT and How Does it Work? Dent Clin North Am. 1 oct 2008;52(4):707-30.
6. Harris D, Horner K, Gröndahl K, Jacobs R, Helmrot E, Benic GI, et al. E.A.O. guidelines for the use of diagnostic imaging in implant dentistry 2011. A consensus workshop organized by the European Association for Osseointegration at the Medical University of Warsaw. Clin Oral Implants Res. 2012;23(11):1243-53.
7. Radiation doses in dental radiology [Internet]. IAEA; 2017 [cité 31 mars 2024]. Disponible sur: <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/dentistry/radiation-doses>
8. Tyndall DA, Price JB, Tetradis S, Ganz SD, Hildebolt C, Scarfe WC. Position statement of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology on selection criteria for the use of radiology in dental implantology with emphasis on cone beam computed tomography. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol. 1 juin 2012;113(6):817-26.
9. Glenny AM. Cone Beam Ct for Dental and Maxillofacial Radiology. European commission; 2012. Report No.: ISSN 1681-6803.
10. Bon usage du cone beam [Internet]. [cité 20 mars 2024]. Disponible sur: <https://www.ameli.fr/chirurgien-dentiste/exercice-liberal/prescription-prise-charge/regles-prescription-formalites/renforcer-bon-usage-cone-beam-odontostomatologie>
11. Horner K, Islam M, Flygare L, Tsiklakis K, Whaites E. Basic principles for use of dental cone beam computed tomography: consensus guidelines of the European Academy of Dental and Maxillofacial Radiology. Dentomaxillofacial Radiol. mai 2009;38(4):187-95.

12. Jacobs R, Salmon B, Codari M, Hassan B, Bornstein MM. Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use. *BMC Oral Health*. 15 mai 2018;18(1):88.
13. Optimization in dental radiology [Internet]. IAEA; 2017 [cité 24 mars 2024]. Disponible sur: <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/dentistry/optimization>
14. Nenot JC. *Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique*. Paris: Éd. Tec & doc; 2009. (Publication de la CIPR).
15. Autorité de Sûreté Nucléaire. *Fiches d'information du public n°2 Les principes de radioprotection*. 2013.
16. Benavides E, Rios HF, Ganz SD, An CH, Resnik R, Reardon GT, et al. Use of Cone Beam Computed Tomography in Implant Dentistry: The International Congress of Oral Implantologists Consensus Report. *Implant Dent*. avr 2012;21(2):78.
17. Jacobs R, Quirynen M. Dental cone beam computed tomography: justification for use in planning oral implant placement. *Periodontol 2000*. 2014;66(1):203-13.
18. Bellaïche N. Cone beam pratique en odontostomatologie - Généralités : principe, technique, qualité d'image, artéfacts, types d'appareil, indications. *Dent Trib*. déc 2013;10,11.
19. Parks ET. Cone beam computed tomography for the nasal cavity and paranasal sinuses. *Dent Clin North Am*. juill 2014;58(3):627-51.
20. Turhan B, Kervancioglu P, Yalcin ED. The radiological evaluation of the nasal cavity, conchae and nasal septum volumes by stereological method: A retrospective cone-beam computed tomography study. *Adv Clin Exp Med Off Organ Wroclaw Med Univ*. août 2019;28(8):1021-6.
21. Safi Y, Mortazavi H, Sadeghian A, Hazrati P. Accidental displacement of a dental implant into the nasal cavity: Report of a rare case. *Clin Case Rep*. 23 nov 2022;10(11):e6634.
22. van de Loo S, Kessler P, Lethaus B. Spontaneous Transmaxillary-Transnasal Implant Loss: A Case Report. *Implant Dent*. avr 2013;22(2):117.
23. Sousa Menezes A, Costa NDRM da, Moreira FC, Ribeiro D. Incisive dental implant migration into the nasal septum. *BMJ Case Rep*. 27 juill 2019;12(7):e228325.
24. Sanchis JM, Díaz JM. Accidental migration of dental implant into the nasal cavity: Spontaneous expulsion through the nose. *J Clin Exp Dent*. 1 oct 2021;13(10):e1057-60.
25. Li S, Xing Z, Yu L. Accidental migration of a dental implant into the nasal cavity. *J Int Med Res*. août 2020;48(8):300060520948736.

26. Bahşi I, Orhan M, Kervancıoğlu P, Yalçın ED, Aktan AM. Anatomical evaluation of nasopalatine canal on cone beam computed tomography images. *Folia Morphol.* 2019;78(1):153-62.
27. Neves FS, Crusoé-Souza M, Franco LCS, Caria PHF, Bonfim-Almeida P, Crusoé-Rebello I. Canalis sinuosus: a rare anatomical variation. *Surg Radiol Anat.* 1 août 2012;34(6):563-6.
28. Machado V de C, Chrcanovic BR, Felipe MB, Manhães Júnior LRC, de Carvalho PSP. Assessment of accessory canals of the canalis sinuosus: a study of 1000 cone beam computed tomography examinations. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1 déc 2016;45(12):1586-91.
29. Samunahmetoglu E, Kurt MH. Assessment of Canalis Sinuosus located in maxillary anterior region by using cone beam computed tomography: a retrospective study. *BMC Med Imaging.* 28 mars 2023;23:46.
30. Aoki R, Massuda M, Zenni LTV, Fernandes KS. Canalis sinuosus: anatomical variation or structure? *Surg Radiol Anat.* 1 janv 2020;42(1):69-74.
31. Ghandourah AO, Rashad A, Heiland M, Hamzi BM, Friedrich RE. Cone-beam tomographic analysis of canalis sinuosus accessory intraosseous canals in the maxilla. *GMS Ger Med Sci.* 19 déc 2017;15:Doc20.
32. Shan T, Qu Y, Huang X, Gu L. Cone beam computed tomography analysis of accessory canals of the canalis sinuosus: A prevalent but often overlooked anatomical variation in the anterior maxilla. *J Prosthet Dent.* oct 2021;126(4):560-8.
33. Tomrukçu DN, Köse TE. Assessment of accessory branches of canalis sinuosus on CBCT images. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* janv 2020;25(1):e124-30.
34. Manhães Júnior LRC, Villaça-Carvalho MFL, Moraes MEL, Lopes SLP de C, Silva MBF, Junqueira JLC. Location and classification of *Canalis sinuosus* for cone beam computed tomography: avoiding misdiagnosis. *Braz Oral Res.* 26 avr 2016;30:e49.
35. Volberg R, Mordanov O. Canalis Sinuosus Damage after Immediate Dental Implant Placement in the Esthetic Zone. *Case Rep Dent.* 2019;2019:3462794.
36. Rosano G, Testori T, Clauser T, Del Fabbro M. Management of a neurological lesion involving Canalis Sinuosus: A case report. *Clin Implant Dent Relat Res.* févr 2021;23(1):149-55.
37. Shintaku WH, Ferreira CF, Venturin J de S. Invasion of the canalis sinuosus by dental implants: A report of 3 cases. *Imaging Sci Dent.* déc 2020;50(4):353-7.
38. Bastir M, Sanz-Prieto D, Burgos M. Three-dimensional form and function of the nasal cavity and nasopharynx in humans and chimpanzees. *Anat Rec Hoboken NJ* 2007. août 2022;305(8):1962-73.
39. Kalabalık F, Tarım Ertaş E. Investigation of maxillary sinus volume relationships with nasal septal deviation, concha bullosa, and impacted or missing teeth using cone-beam computed tomography. *Oral Radiol.* sept 2019;35(3):287-95.

40. Vadrot A. Évaluation par CBCT des variations anatomiques des sinus maxillaires et des fosses nasales avant la réalisation d'un sinus lift.
41. Maestre-Ferrin L, Galan-Gil S, Rubio-Serrano M, Penarrocha-Diago M, Penarrocha-Oltra D. Maxillary sinus septa: A systematic review. *Med Oral Patol Oral Cirurgia Bucal*. 2010;e383-6.
42. Şimşek Kaya G, Daltaban Ö, Kaya M, Kocabalkan B, Sindel A, Akdağ M. The potential clinical relevance of anatomical structures and variations of the maxillary sinus for planned sinus floor elevation procedures: A retrospective cone beam computed tomography study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2019;21(1):114-21.
43. Tükel HC, Tatli U. Risk factors and clinical outcomes of sinus membrane perforation during lateral window sinus lifting: analysis of 120 patients. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 1 sept 2018;47(9):1189-94.
44. Ata-Ali J, Diago-Vilalta JV, Melo M, Bagán L, Soldini MC, Di-Nardo C, et al. What is the frequency of anatomical variations and pathological findings in maxillary sinuses among patients subjected to maxillofacial cone beam computed tomography? A systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. juill 2017;22(4):e400-9.
45. Zhou Q, Qiao F, Zhu D. The Radiological Evaluation of the Anatomy of the Alveolar Antral Artery and the Lateral Wall Thickness Using Cone-Beam Computed Tomography: A Retrospective Study. *Curr Med Imaging*. 6 mars 2023;
46. Varela-Centelles P, Loira-Gago M, Seoane-Romero JM, Takkouche B, Monteiro L, Seoane J. Detection of the posterior superior alveolar artery in the lateral sinus wall using computed tomography/cone beam computed tomography: a prevalence meta-analysis study and systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. nov 2015;44(11):1405-10.
47. Radmand F, Razi T, Baseri M, Gavvani LF, Salehnia F, Faramarzi M. Anatomic evaluation of the posterior superior alveolar artery using cone-beam computed tomography: A systematic review and meta-analysis. *Imaging Sci Dent*. sept 2023;53(3):177-91.
48. Su-Gwan Kim (2011). *Clinical Complications of Dental Implants, Implant Dentistry - A Rapidly Evolving Practice*, Prof. Ilser Turkyilmaz (Ed.), ISBN: 978-953-307-658-4, InTech
49. Staněk J, Machálková K, Staňková M, Zapletalová J, Kocurová T. Alveolar antral artery: cone beam computed tomography study and clinical context. *PeerJ*. 2023;11:e16439.
50. Howard-Swirzinski K, Edwards PC, Saini TS, Norton NS. Length and geometric patterns of the greater palatine canal observed in cone beam computed tomography. *Int J Dent*. 2010;2010:292753.
51. Bahşi İ, Orhan M, Kervancioğlu P, Yalçın ED. Morphometric evaluation and clinical implications of the greater palatine foramen, greater palatine canal and pterygopalatine fossa on CBCT images and review of literature. *Surg Radiol Anat*. 1 mai 2019;41(5):551-67.

52. Tofangchiha M, Hematzadeh S, Vali ME, Ghonche MRA, Mirzadeh M, Reda R, et al. Anatomical localization of posterior superior alveolar artery: A retrospective study by cone-beam computed tomography. *Dent Med Probl.* 30 sept 2022;59(3):407-12.
53. Soto R, Concha G, Pardo S, Cáceres F. Determination of presence and morphometry of lingual foramina and canals in Chilean mandibles using cone-beam CT images. *Surg Radiol Anat SRA.* déc 2018;40(12):1405-10.
54. Wang YM, Ju YR, Pan WL, Chan CP. Evaluation of location and dimensions of mandibular lingual canals: a cone beam computed tomography study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* sept 2015;44(9):1197-203.
55. Vyas R, Tadinada A. A Three-Dimensional (3D) Evaluation Unveiling if the Anterior Mandible Is Truly a Safe Zone for Implant Placement. *Cureus.* avr 2023;15(4):e38084.
56. He P, Truong MK, Adeeb N, Tubbs RS, Iwanaga J. Clinical anatomy and surgical significance of the lingual foramina and their canals. *Clin Anat.* 2017;30(2):194-204.
57. Silvestri F, Nguyen JF, Hübner O, Mense C. Lingual foramina of the anterior mandible in edentulous patients: CBCT analysis and surgical risk assessment. *Ann Anat Anat Anz Off Organ Anat Ges.* oct 2022;244:151982.
58. Lakha T, Kheur M, Mühlemann S, Kheur S, Le B. Ultrasound and CBCT analysis of blood flow and dimensions of the lingual vascular canal: A case control study. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2021;11(1):40-6.
59. Sener E, Onem E, Akar GC, Govsa F, Ozer MA, Pinar Y, et al. Anatomical landmarks of mandibular interforaminal region related to dental implant placement with 3D CBCT: comparison between edentulous and dental mandibles. *Surg Radiol Anat SRA.* juin 2018;40(6):615-23.
60. Martins VB, Oenning ACC, Guimarães LC, Junqueira JLC, Franco A. CBCT study on the prevalence, morphology and position of the mandibular incisive canal in a North-Brazilian population. *J Clin Exp Dent.* juill 2022;14(7):e534-40.
61. Al-Ani O, Nambiar P, Ha KO, Ngeow WC. Safe zone for bone harvesting from the interforaminal region of the mandible. *Clin Oral Implants Res.* août 2013;24 Suppl A100:115-21.
62. Panjnoush M, Rabiee ZS, Kheirandish Y. Assessment of Location and Anatomical Characteristics of Mental Foramen, Anterior Loop and Mandibular Incisive Canal Using Cone Beam Computed Tomography. *J Dent Tehran Iran.* mars 2016;13(2):126-32.
63. Alshamrani AS, Tokhtah RA, Al-Omar A. Cone-beam computed tomography evaluation of prevalence and location of mandibular incisive canal in patients attending King Saud University Dental Hospital. *J Orthod Sci.* 2021;10:21.

64. Barbosa DA, Kurita LM, Pimenta AV, Teixeira RC, Silva PG, Ribeiro TR, et al. Mandibular incisive canal-related prevalence, morphometric parameters, and implant placement implications: a multicenter study of 847 CBCT scans. *Med Oral Patol Oral Cirurgia Bucal*. 1 mai 2020;25(3):e337-45.
65. Borghesi A, Di Salvo D, Ciolli P, Falcone T, Ravanelli M, Farina D, et al. Detection Rate and Variability in Measurement of Mandibular Incisive Canal on Cone-Beam Computed Tomography: A Study of 220 Dentate Hemi-Mandibles from Italy. *J Imaging*. 7 juin 2022;8(6):161.
66. Bilginaylar K, Orhan K, Uyanik LO. Mandibular incisive canal in relation to periapical surgery. *Contemp Clin Dent*. 2016;7(1):79-81.
67. Stephan G, Noharet R, Berteretche MV, Mariani P. Risques anatomiques à la mandibule en chirurgie implantaire. 2006;12.
68. Pelé A, Berry PA, Evanno C, Jordana F. Evaluation of Mental Foramen with Cone Beam Computed Tomography: A Systematic Review of Literature. *Radiol Res Pract*. 6 janv 2021;2021:8897275.
69. Wong SK, Patil PG. Measuring anterior loop length of the inferior alveolar nerve to estimate safe zone in implant planning: A CBCT study in a Malaysian population. *J Prosthet Dent*. août 2018;120(2):210-3.
70. Yang XW, Zhang FF, Li YH, Wei B, Gong Y. Characteristics of intrabony nerve canals in mandibular interforaminal region by using cone-beam computed tomography and a recommendation of safe zone for implant and bone harvesting. *Clin Implant Dent Relat Res*. juin 2017;19(3):530-8.
71. Lu CI, Won J, Al-Ardah A, Santana R, Rice D, Lozada J. Assessment of the Anterior Loop of the Mental Nerve Using Cone Beam Computerized Tomography Scan. *J Oral Implantol*. déc 2015;41(6):632-9.
72. Juan DVL, Grageda E, Gómez Crespo S. Anterior loop of the inferior alveolar nerve: Averages and prevalence based on CT scans. *J Prosthet Dent*. févr 2016;115(2):156-60.
73. Chen JCH, Lin LM, Geist JR, Chen JY, Chen CH, Chen YK. A retrospective comparison of the location and diameter of the inferior alveolar canal at the mental foramen and length of the anterior loop between American and Taiwanese cohorts using CBCT. *Surg Radiol Anat SRA*. janv 2013;35(1):11-8.
74. Othman B, Zahid T. Mental Nerve Anterior Loop Detection in Panoramic and Cone Beam Computed Tomography Radiograph for Safe Dental Implant Placement. *Cureus*. oct 2022;14(10):e30687.
75. Varvara G, Feragalli B, Turkyilmaz I, D'Alonzo A, Rinaldi F, Bianchi S, et al. Prevalence and Characteristics of Accessory Mandibular Canals: A Cone-Beam Computed Tomography Study in a European Adult Population. *Diagn Basel Switz*. 4 août 2022;12(8):1885.

76. Naitoh M, Hiraiwa Y, Aimiya H, Arijji E. Observation of bifid mandibular canal using cone-beam computerized tomography. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24(1):155-9.
77. Elnadoury EA, Gaweesh YSED, Abu El Sadat SM, Anwar SK. Prevalence of bifid and trifid mandibular canals with unusual patterns of nerve branching using cone beam computed tomography. *Odontology.* janv 2022;110(1):203-11.
78. Rahpeyma A, Khajehahmadi S. Submandibular fossa augmentation in implant dentistry. *J Indian Soc Periodontol.* 2017;21(3):207-9.
79. Gupta J, Ali S. Cone beam computed tomography in oral implants. *Natl J Maxillofac Surg.* 2013;4(1):2.

Table des illustrations

Figure 1: Doses efficaces (en mSv) en radiologie dentaire [6].....	24
Figure 2: (C) Coupes dans le plan frontal des fosses nasales et du sinus maxillaire droit ; (D) Reconstitution en 3D du CBCT avec visualisation de l'implant migré [21].....	33
Figure 3: (A) Coupes des fosses nasales dans un plan parasagittal des fosses nasales mettant en évidence la position de l'implant ; (B) Reconstitutions en 3D du CBCT mettant en évidence la position de l'implant [21].....	33
Figure 4: Coupes de cone beam illustrant un canal incisif maxillaire dans les plans sagittal, horizontal et frontal (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	34
Figure 5: Coupes de cone beam illustrant un canal incisif maxillaire dans les plans sagittal, horizontal et frontal respectivement (images issues du service de radiologie du CHU de Lille).....	34
Figure 6: Reconstitution partielle 3D du massif facial (en rouge le trajet du nerf infra- orbitaire et du canalis sinuosus) [28].....	36
Figure 7: Coupes de cone beam dans les plans frontal, parasagittal et horizontal illustrant un canalis sinuosus gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	37
Figure 8: Coupes de cone beam dans les plans horizontal et sagittal illustrant un canalis sinuosus droit (images issues du service de radiologie du CHU de Lille).....	37
Figure 9: Coupes d'un cone beam dans les plans parasagittal, frontal et horizontal illustrant un canalis sinuosus droit (images issues du service de radiologie du CHU de Lille).....	38
Figure 10: Coupe de cone beam dans le plan horizontal illustrant des sinus maxillaires (images issues du service de radiologie du CHU de Lille).....	39
Figure 11: Coupe de cone beam dans le plan frontal illustrant des sinus maxillaires (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	40
Figure 12: Coupe de cone beam dans un plan parasagittal d'un sinus présentant un septum maxillaire [40].....	41
Figure 13: Coupe d'un cone beam dans un plan horizontal illustrant un septa maxillaire dans un sinus maxillaire gauche (images personnelles provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	41
Figure 14: Coupe d'un cone beam dans un plan parasagittal illustrant un septa maxillaire dans un sinus maxillaire gauche (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	42

Figure 15: Coupe d'un cone beam dans un plan frontal illustrant l'artère alvéolo-antrale intra-sinusienne dans un sinus maxillaire droit (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	44
Figure 16: Coupes de cone beam dans les plans horizontal, frontal et parasagittal illustrant l'artère alvéolo-antrale intra-sinusienne dans le sinus maxillaire gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	45
Figure 17: Coupe d'un cone beam dans un plan frontal illustrant l'artère alvéolo-antrale intra-osseuse dans un sinus maxillaire gauche (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	46
Figure 18: Coupe de cone beam dans un plan horizontal illustrant l'artère alvéolo-antrale intra-osseuse dans le sinus maxillaire gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	46
Figure 19: Coupe de cone beam dans un plan horizontal illustrant une artère alvéolo-antrale intra-osseuse droite (images personnelles provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	47
Figure 20: Coupes de cone beam dans un plan horizontal et frontal illustrant l'artère alvéolo-antrale intra-osseuse dans le sinus maxillaire droit (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	47
Figure 21: Coupes de cone beam dans des plans horizontaux illustrant la position du foramen grand palatin par rapport à la limite postérieure du palais dur: a) position antérieure; b) position en regard de la limite; c) position postérieure [51].....	48
Figure 22: Coupe horizontale de cone beam illustrant 2 foramens grand palatin postérieurs à la limite entre palais dur et palais mou (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	49
Figure 23: Coupe horizontale de cone beam illustrant 2 foramens grand palatin postérieurs à la limite entre palais dur et palais mou (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	49
Figure 24: Coupes de cone beam dans les plans sagittal et horizontal illustrant un canal lingual médian (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	50
Figure 25: Coupe de cone beam dans le plan sagittal illustrant 2 canaux linguaux médians (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	51
Figure 26: Coupe de cone beam dans le plan sagittal illustrant 2 canaux linguaux médians dont les orientations sont respectivement vers le bas et horizontale (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	53
Figure 27: Coupe de cone beam dans le plan sagittal illustrant un canal lingual médian dont l'orientation est vers le bas (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	54
Figure 28: Schéma de la division du canal mandibulaire côté gauche [59].....	55
Figure 29: Représentation 3D du canal incisif droit (en jaune) [60].....	55

Figure 30: Coupe horizontale de cone beam illustrant des canaux incisifs mandibulaires bilatéraux (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	56
Figure 31: Coupes de cone beam dans les plans horizontal et frontal illustrant un canal incisif mandibulaire gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	56
Figure 32: Reconstitution panoramique d'un cone beam illustrant un canal incisif mandibulaire gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	57
Figure 33: Coupes de cone beam dans les plans horizontal, para sagittal et frontal illustrant un foramen mentonnier gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	58
Figure 34: Reconstitution en 3D via le logiciel Relu d'un cone beam mettant en avant le foramen mentonnier droit (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	59
Figure 35 : Coupe d'un cone beam dans le plan frontal illustrant la position du foramen mentonnier au sommet de la crête osseuse [67].....	59
Figure 36: Schéma de l'anatomie nerveuse en regard du foramen mentonnier [68].....	60
Figure 37: Reconstitution panoramique d'un cone beam illustrant la boucle antérieure du nerf mentonnier côté gauche (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).	61
Figure 38: Coupe horizontale de cone beam illustrant des canaux mandibulaires droit et gauche (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	62
Figure 39: Coupe frontale de cone beam illustrant un canal mandibulaire droit dans le plan frontal (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	62
Figure 40: Reconstitution en 3D via le logiciel Relu d'un cone beam illustrant le trajet du canal du nerf mandibulaire gauche (en rouge) dans l'os mandibulaire (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	63
Figure 41: Reconstitution panoramique d'un cone beam illustrant un canal mandibulaire bilatéral de type 1 [77].....	64
Figure 42: Reconstitutions panoramiques de cone beams illustrant des canaux mandibulaires gauches de type 2 [77].....	65
Figure 43: Reconstitution panoramique et coupe dans le plan frontal d'un cone beam illustrant un canal mandibulaire droit de type 3 [77].....	65
Figure 44: Coupe dans un plan frontal d'un cone beam illustrant un canal mandibulaire droit bifide de type 3 (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).	66
Figure 45: Coupe d'un cone beam dans le plan frontal illustrant un canal mandibulaire de type 4 (images provenant du cabinet du Dr Hubert Legrand).....	66

Figure 46: Coupe de cone beam dans le plan frontal illustrant une concavité mandibulaire droite et gauche (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	67
Figure 47: Coupe de cone beam dans le plan frontal illustrant une concavité mandibulaire droite et gauche (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	67
Figure 48: Coupe de cone beam dans le plan frontal d'une branche horizontale gauche de la mandibule illustrant la concavité mandibulaire en regard d'un implant en place de 37 (images obtenues dans le service de radiologie du CHU de Lille).....	68
Figure 49: Coupe de cone beam dans le plan frontal illustrant la perforation de la corticale linguale par un implant dentaire à droite [79].....	69

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : 2025

Analyse sur cone beam des éléments anatomiques à risque en chirurgie implantaire et leurs variations anatomiques / **Clémence MAILLY** – p. 84 ; ill. 49 ; réf. 79.

Domaines : Implantologie ; Sciences fondamentales : anatomie

Mots clés Libres : cone beam ; CBCT ; chirurgie implantaire ; anatomie ; variations anatomiques

Résumé de la thèse

L'évolution technologique dans le domaine de l'imagerie médicale a joué un rôle déterminant dans le développement de la chirurgie implantaire. Contrairement aux radiographies bidimensionnelles, la radiographie tridimensionnelle offre une visualisation détaillée des structures anatomiques, améliorant ainsi la précision des évaluations pré-chirurgicales et réduisant les risques de complications.

La proximité des structures anatomiques sensibles, telles que les éléments neurovasculaires ou les sinus maxillaires, constitue un défi majeur en chirurgie implantaire. Une connaissance approfondie de l'anatomie et une planification rigoureuse basée sur des examens CBCT sont essentielles pour prévenir des complications chirurgicales, optimisant ainsi les résultats à long terme.

Cette thèse vise à enrichir la compréhension des structures anatomiques visibles sur les examens CBCT et leurs variations anatomiques possibles. L'objectif est de fournir aux praticiens des données précises pour minimiser les risques chirurgicaux, tout en favorisant une approche plus sûre et personnalisée de l'implantologie dentaire, au service d'une meilleure prise en charge des patients.

JURY :

Président : Madame la Professeure Caroline DELFOSSE

Asseseurs :

Madame le Docteur Céline CATTEAU

Madame le Docteur Amélie DE BROUCKER

Monsieur le Docteur Philippe ROCHER

Adresse de l'auteur