

NANTES UNIVERSITE
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2023

N°

L'apport de l'imagerie lors de la réhabilitation implantaire

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



Présentée et soutenue publiquement par

CHEVEAU Damien

Le 06 février 2023 devant le jury ci-dessous

Président : Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ
Assesseur : Monsieur le Docteur Maxime GUILLEMIN
Assesseur : Monsieur le Docteur Samuel SERISIER

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ
Co-directrice de thèse : Madame le Docteur Fabienne JORDANA

 Nantes Université	Présidente - Pr BERNAULT Carine
 Pôle Santé UFR Odontologie	Doyen - Pr SOUEIDAN Assem
	Asseseurs Dr GAUDIN Alexis Pr LE GUEHENNEC Laurent Pr LESCLOUS Philippe

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers des C.S.E.R.D	
Mme ALLIOT-LICHT Brigitte M AMOURIQ Yves Mme CHAUX Anne-Gaëlle M. LABOUX Olivier	Mme LOPEZ Serena Mme PEREZ Fabienne M. WEISS Pierre

Professeur des Universités
M. BOULER Jean-Michel

Maitre de conférence des Universités
Mme VINATIER Claire

Professeur Emérite
M. GIUMELLI Bernard

Enseignants Associés	
M. GUIHARD Pierre (Professeur Associé) Mme LOLAH Aoula (Assistant Associé)	M. BANDIAKY Octave (Assistant Associé)

Maitres de conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers des C.S.E.R.D	Assistants Hospitaliers Universitaires des C.S.E.R.D
M. AMADOR DEL VALLE Gilles Mme ARMENGOL Valérie Mme BLERY Pauline M. BODIC François Mme CLOITRE Alexandra Mme DAJEAN-TRUDAUD Sylvie M. DENIS Frédéric Mme ENKEL Bénédicte M. HOORNAERT Alain Mme HOUCHMAND-CUNY Madline Mme JORDANA Fabienne M. LE BARS Pierre M. NIVET Marc-Henri M. PRUD'HOMME Tony Mme RENARD Emmanuelle M. RENAUDIN Stéphane M. STRUILLLOU Xavier M. VERNER Christian	M. ALLIOT Charles Mme CLOUET Roselyne M. EVRARD Lucas M. GUIAS Charles M. GUILLEMIN Maxime Mme HASCOET Emilie Mme HEMMING Cécile M. HIBON Charles M. KERIBIN Pierre Mme OYALLON Mathilde Mme QUINSAT Victoire Eugenie M. REMAUD Matthieu M. RETHORE Gildas M. SERISIER Samuel Mme TISSERAND Lise

Praticiens Hospitaliers	
Mme DUPAS Cécile	Mme HYON Isabelle

**Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le Conseil de la
Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises
dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être
considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur
donner aucune approbation, ni improbation**

Remerciements,

A Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ,

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de
Recherche Dentaires

Docteur de l'Université de Nantes Habilité à Diriger les Recherches

Département de Prothèses

Chef de Service d'Odontologie Restauratrice et Chirurgicale

- NANTES -

Pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury,

Pour vos conseils avisés, et ce depuis mes premiers pas en clinique à vos côtés en troisième année,

Pour votre sérieux et votre disponibilité,

Veillez trouver ici l'expression de mes plus sincères remerciements.

A Madame le Docteur Fabienne JORDANA,

Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier des Centres de Soins
d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Docteur de l'Université de Bordeaux Habilité à Diriger les Recherches

Département de Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques,

Biomatériaux, Biophysique, Radiologie

- NANTES -

Pour avoir accepté de diriger cette thèse, malgré toutes celles dont vous aviez déjà la responsabilité,

Pour votre patience et votre rigueur tout au long de ce travail,

Pour votre bienveillance et votre disponibilité,

Veillez trouver ici l'expression de mon plus grand respect et de ma sincère gratitude.

A Monsieur le Docteur Maxime GUILLEMIN,

Assistant Hospitalier Universitaire des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche
Dentaires - Département de Chirurgie Orale

- NANTES -

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de siéger dans ce jury,

Pour votre disponibilité et vos conseils avisés tout au long de mes années d'études,

Pour votre amitié pendant et au-delà de mes études,

Veillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements

A Monsieur le Docteur Samuel SERISIER,

Assistant Hospitalier Universitaire des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche
Dentaires - Département de Sciences Biologiques

- NANTES -

Pour l'honneur que vous nous faites en participant au jury de cette thèse,

Ainsi que pour la qualité de votre enseignement clinique,

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

1	INTRODUCTION	10
2	RAPPELS SUR L'IMAGERIE UTILISEE EN ODONTOLOGIE	11
2.1	RADIOGRAPHIE 2D.....	11
2.1.1	<i>Le cliché rétro-alvéolaire</i>	11
2.1.2	<i>Le cliché panoramique ou orthopantomogramme</i>	13
2.2	RADIOGRAPHIE 3D.....	15
2.2.1	<i>Tomodensitométrie (scanner)</i>	15
2.2.2	<i>Tomodensitométrie volumique à faisceau conique (CBCT)</i>	15
3	L'APPORT DE L'IMAGERIE EN PRE-CHIRURGIE IMPLANTAIRE	19
3.1	ÉLABORATION DU PLAN DE TRAITEMENT	19
3.1.1	<i>Généralités</i>	19
3.1.2	<i>Aspect médico-légal</i>	19
3.2	ÉTUDE DE FAISABILITE DU PROJET IMPLANTAIRE	20
3.2.1	<i>Indications thérapeutiques</i>	20
3.2.2	<i>Contre-indications thérapeutiques</i>	20
3.2.3	<i>Examen radiologique du patient</i>	21
3.3	PLANIFICATION IMPLANTAIRE	22
3.3.1	<i>Quantité osseuse</i>	22
3.3.2	<i>Qualité osseuse(38)</i>	23
3.3.3	<i>Évaluation des rapports avec les structures anatomiques voisines</i>	25
3.3.4	<i>Guides radiologiques</i>	30
3.3.5	<i>Le flux numérique dans le traitement implantaire</i>	33
4	L'APPORT DE L'IMAGERIE EN PER-CHIRURGIE IMPLANTAIRE	34
4.1	LA CHIRURGIE GUIDEE : GENERALITES DE LA CHIRURGIE IMPLANTAIRE	34
4.1.1	<i>Protocole</i>	34
4.1.2	<i>Guides chirurgicaux</i>	34
4.2	CONTROLE DE L'AXE IMPLANTAIRE	35
4.3	L'APPORT DE LA RADIOGRAPHIE DANS LA GESTION DES COMPLICATIONS IMMEDIATES	35
4.3.1	<i>Perte accidentelle d'un implant dans le sinus</i>	35
4.3.2	<i>Ingestion d'un composant</i>	36
4.3.3	<i>Effraction accidentelle de la corticale inférieure de la mandibule</i>	37
4.3.4	<i>Inhalation d'un composant</i>	37
4.4	NOUVELLES TECHNOLOGIES : CHIRURGIE NAVIGUEE : LE SYSTEME X-GUIDE.....	38
4.4.1	<i>Présentation</i>	38
4.4.2	<i>Planification</i>	39
4.4.3	<i>Phase chirurgicale</i>	39
4.4.4	<i>Avantages et inconvénients</i>	40
5	L'APPORT DE L'IMAGERIE EN POST-CHIRURGIE IMPLANTAIRE	41
5.1	CONTROLE DE LA CICATRISATION	41
5.2	COMPLICATIONS PRECOCES ET TARDIVES.....	42
5.2.1	<i>Complications précoces</i>	42
5.2.2	<i>Complications tardives</i>	44
6	CONCLUSION	46
	BIBLIOGRAPHIE	47
	TABLE DES ILLUSTRATIONS	52

1 Introduction

L'implantologie est actuellement une discipline incontournable de la médecine bucco-dentaire. Depuis les travaux de Bränemark dans les années 1960, l'implantologie orale n'a cessé de se développer et de se démocratiser. L'essor de cette discipline a permis de nouvelles perspectives de traitement lors d'édentements unitaires ou multiples.

L'utilisation d'implants améliore le confort du patient en permettant une meilleure stabilité prothétique, et permet d'augmenter les capacités masticatrices du patient.

La réalisation d'un traitement implantaire réunit des compétences diverses ; la pose d'implant est un acte chirurgical, suivi d'une réhabilitation prothétique et de maintenances régulières. Chaque étape du traitement pouvant être plus ou moins complexe, l'imagerie dentaire apporte au praticien une aide non négligeable tout au long de la prise en charge.

La première imagerie médicale provient des travaux réalisés par Wilhelm Röntgen en 1895. Depuis, les techniques d'imagerie n'ont cessé de se développer, permettant au chirurgien-dentiste de compléter son examen clinique par des examens radiographiques de plus en plus performants, parfois couplés à des outils numériques.

Ce travail a pour but de réunir les indications radiographiques dans les différentes étapes d'un projet implantaire : de sa planification, jusqu'aux étapes de maintenance.

2 Rappels sur l'imagerie utilisée en odontologie

Les examens radiographiques constituent les examens complémentaires incontournables du bilan pré-implantaire(1). Ils sont utiles, dans leurs spécificités, tout au long du traitement. Des examens propres à chaque indication sont adaptés et complètent chaque étape : radiographie rétro-alvéolaire, radiographie panoramique, tomographie volumique à faisceau conique et scanner. L'analyse de leurs données appuie la décision thérapeutique.

2.1 Radiographie 2D

2.1.1 Le cliché rétro-alvéolaire

2.1.1.1 Principe

Le cliché rétro-alvéolaire est une technique de radiographie intra-orale visualisant les dents et leur environnement proche (tissu environnant, os alvéolaire, ...)(2). Sur un cliché, on peut généralement voir 2 à 4 dents. C'est une radiographie de petite taille, réalisée soit à l'aide d'un ERLM (Écran Radio Luminescent à Mémoire) soit à l'aide d'un capteur RVG (Radio Visio Graphie).

La radiographie rétro-alvéolaire est l'examen conventionnel indiqué pour :

- Un bilan parodontal
- Le suivi post-chirurgical des traitements implantaires
- Le contrôle de l'adaptation des vis de cicatrisation
- Les différents stades de la réalisation prothétique implanto-portée

2.1.1.2 Réalisation de l'examen

Le patient est le plus souvent assis dans une position idéalement confortable, tête immobile avec un plan d'occlusion horizontal.

Le tube applicateur de faisceau (TAF) est placé de façon adjacente au patient selon l'incidence désirée.

Le film doit être positionné le plus proche possible des dents à radiographier. Le capteur en position intra-orale est maintenu soit par un porte-film soit à l'aide d'un angulateur de Rinn.



Figure 1 : Positionnement du TAF lors d'un cliché rétro-alvéolaire à l'aide d'un angulateur de Rinn(3)

2.1.1.3 Les techniques radiographiques

Il existe deux techniques pour réaliser les clichés rétro-alvéolaires : la technique des plans parallèles et celle des plans bissecteurs.

2.1.1.3.1 Techniques des plans parallèles

La technique des plans parallèles est idéale car elle permet de produire des clichés avec les dimensions réelles de la dent.

Dans cette technique, la dent et le film sont parallèles et les rayons X les traversent perpendiculairement.

Cette technique est dite reproductible par l'utilisation des angulateurs de Rinn, bleu pour les dents antérieures et jaune pour les dents postérieures.

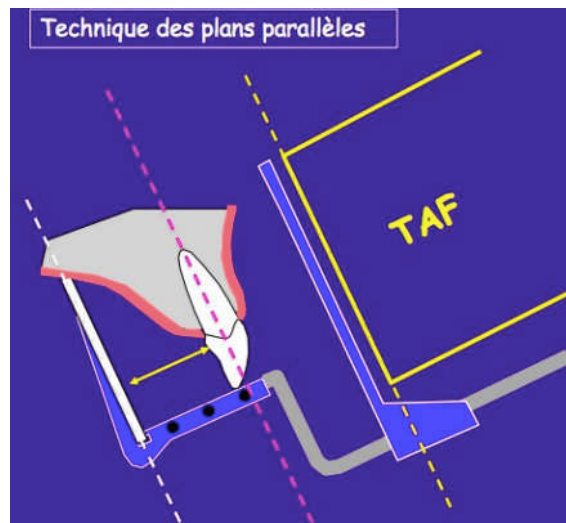


Figure 2 : Schéma représentant la technique des plans parallèles

2.1.1.3.2 Technique des plans bissecteurs

Dans cette technique, on place le capteur au plus proche de la dent sans plier le film. Ensuite, il faut calculer la ligne bissectrice à égale distance entre l'axe de la dent et du film (soit la ligne qui sépare en deux l'angle capteur-dent). Il faut ensuite positionner le faisceau de façon perpendiculaire à la ligne des bissectrices.

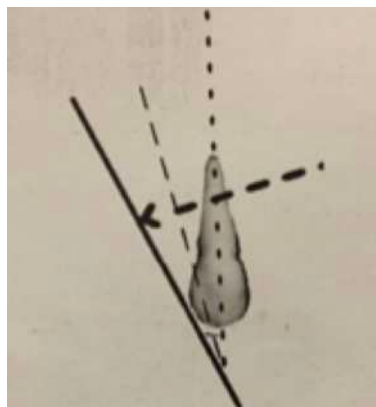


Figure 3 : Schéma représentant la technique des plans bissecteurs(4)

2.1.2 Le cliché panoramique ou orthopantomogramme

2.1.2.1 Principe

La radiographie panoramique est couramment utilisée comme examen de « débrouillage » lors du bilan pré-implantaire(5)

Cette image bidimensionnelle dans le plan frontal est usuelle pour l'étude des maxillaires(6), des arcades dentaires et d'une partie du squelette de la face.



Figure 4 : Structures anatomiques reconnaissables sur une radiographie panoramique(7)

L'analyse des dents sur une radiographie panoramique objective :

- Leur nombre
- La présence de soins conservateurs, de prothèses fixées, d'implants...
- La présence de lésions carieuses, de fractures radiculaires, de résorptions radiculaires
- La position des dents
- Anomalies du développement : agénésie, odontomes, ...
- Dents incluses
- Lésions apicales
- Kystes des maxillaires

2.1.2.2 Réalisation de l'examen

Lors de cet examen, le patient est debout et immobile (possibilité « assis » pour les patients à mobilité réduite). Il a été placé correctement par le praticien en fonction des différents repères à respecter (plan de Francfort...).

L'acquisition du cliché dure environ 10 à 20 secondes.



Figure 5 : Positionnement du patient lors de la réalisation d'un cliché panoramique(8)

2.1.2.3 Limites de l'examen panoramique

Les limites de l'interprétation des radiographies panoramiques sont liées à la technique de réalisation (erreurs de positionnement du patient, mobilité du patient pendant l'acquisition...).

Les difficultés d'analyses sont aussi liées au fait que toutes les structures anatomiques sont superposées. Exemple : la projection du *foramen* mentonnier sur l'apex de la seconde prémolaire mandibulaire peut être interprétée comme une lésion péri-apicale.

En implantologie, la déclivité et la largeur des crêtes ne sont pas quantifiables sur ce type d'examen, par conséquent, le risque de perforation lors de la mise en place d'implants, n'est pas négligeable(9).

La déformation tissulaire nous empêche de prendre avec précision des mesures, comme la longueur de travail en endodontie ou bien la hauteur d'os exacte entre le bord supérieur de la crête alvéolaire et le nerf alvéolaire inférieur, pour la pose d'implant mandibulaire.

Enfin, la radiographie panoramique :

- Témoigne de l'assainissement général maxillaire et mandibulaire lors des phases pré- ou post-opératoires
- Contribue au contrôle des implants et de leurs environnements tissulaires juste après la pose, également avant leur mise en charge et lors de leurs surveillances régulières(10).

La nécessité d'un diagnostic précis, du repérage et de l'évaluation des obstacles anatomiques, mais aussi la capacité de simuler l'acte chirurgical à l'aide de logiciels de planification implantaire orientent le praticien vers l'utilisation des tomographies volumiques à faisceau conique et des scanners.

2.2 Radiographie 3D

2.2.1 Tomodensitométrie (scanner)

2.2.1.1 Principe

Précédant la tomographie volumique à faisceau conique, la tomodensitométrie a représenté l'examen de référence pour évaluer les sites implantaire(7).

A partir des coupes d'acquisition en incidence axiale, un logiciel de reconstruction spécifique dentaire (Dentascan) élabore des reconstructions coronales obliques et curvilignes panoramiques bidimensionnelles.

Grâce aux fonctions de conversion des logiciels couplés, il est possible d'obtenir des images tridimensionnelles de la face, des maxillaires ou des arcades dentaires(11). L'ensemble des données est consultable *via* internet.

De façon similaire à la tomographie volumique à faisceau conique, le scanner est une technologie avérée pour mieux appréhender les obstacles anatomiques, dans l'objectif d'une planification implantaire(12)(13).

Ainsi au maxillaire, et en l'absence de pathologies, l'étude porte principalement sur :

- L'importance du canal incisif et sa position
- La dimension et l'anatomie des sinus maxillaires
- La hauteur de l'os alvéolaire en regard des fosses nasales
- Les régions tubérositaires.

A la mandibule, l'analyse cible essentiellement :

- La position du canal mandibulaire
- L'émergence du nerf mentonnier et d'un éventuel trajet rétrograde
- La ou les concavités linguales postérieures en regard de la glande submandibulaire(7).

La tomodensitométrie est un examen de radiologie qualitatif et quantitatif(14). Il présente la possibilité d'évaluer la densité osseuse(15)(16)(17).

2.2.2 Tomodensitométrie volumique à faisceau conique (CBCT)

L'avantage de l'utilisation du CBCT en dentisterie implantaire est lié à sa capacité à acquérir des données d'images volumétriques détaillée de la région maxillo-faciale à des fins de diagnostic et de planification pré-chirurgicale.

2.2.2.1 Principe de fonctionnement

Le faisceau de rayons X de forme conique est atténué en traversant l'objet à explorer, avant d'être analysé par un système de détection tournant autour du sujet selon un angle de 180 à 360 degrés selon les constructeurs.

Cone beam, c'est-à-dire « faisceau conique », signifie que l'ensemble du faisceau, en volume et en trois dimensions, est utilisé pour générer l'image, et non un faisceau plan en deux dimensions comme en TDM(18).

Ce faisceau conique nous permet la transition de l'imagerie d'une ou plusieurs coupes à l'imagerie d'une région bien définie.

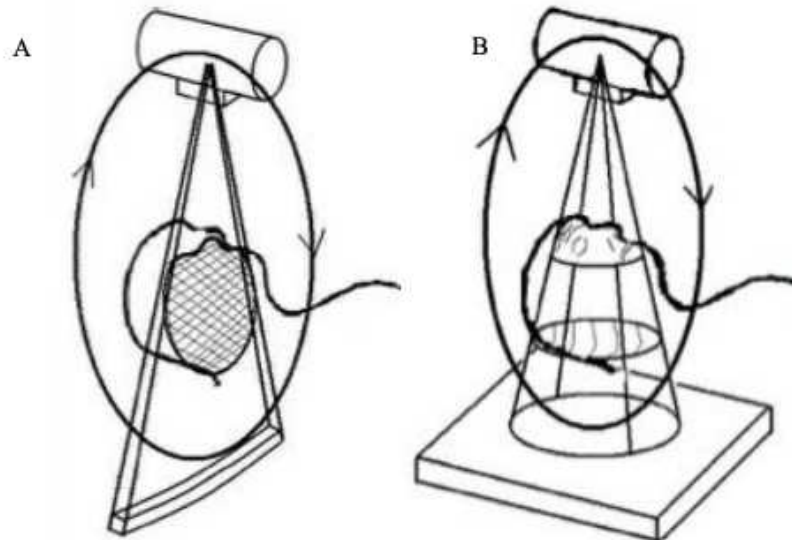


Figure 6 : Variations de la forme du faisceau en fonction des techniques d'imagerie : faisceau en éventail du scanner (A) et faisceau conique du CBCT (B)(19)

L'unité de volume est dénommée « voxel » (volume élément). Un voxel à la forme d'un parallélépipède rectangle, il est caractérisé par les dimensions de ses trois arêtes.

Pour un examen de type scanner dentaire ou sinusien, la longueur d'une des arêtes, correspondant à l'épaisseur de coupe, est supérieure à celle des deux autres. Le volume est « anisotrope » et les reconstructions sagittales ou coronales sont affectées d'une moindre résolution spatiale que les coupes axiales (natives).

Le volume d'un examen CBCT est caractérisé par son caractère « isotrope » (voxels cubiques). Les coupes obtenues ont la même résolution spatiale quelle que soit leur orientation.

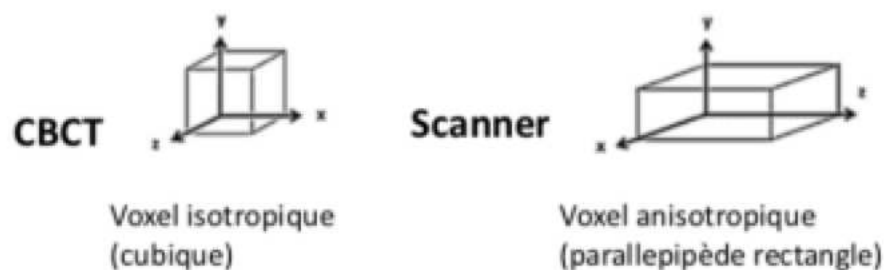


Figure 7: Comparaison des voxels obtenus avec un CBCT par rapport à un scanner(20)

Le volume obtenu (autrement dit : les acquisitions) est reconstruit par ordinateur en coupe axiale 2D, alors que théoriquement le scanner obtient un volume à partir de coupes 2D.

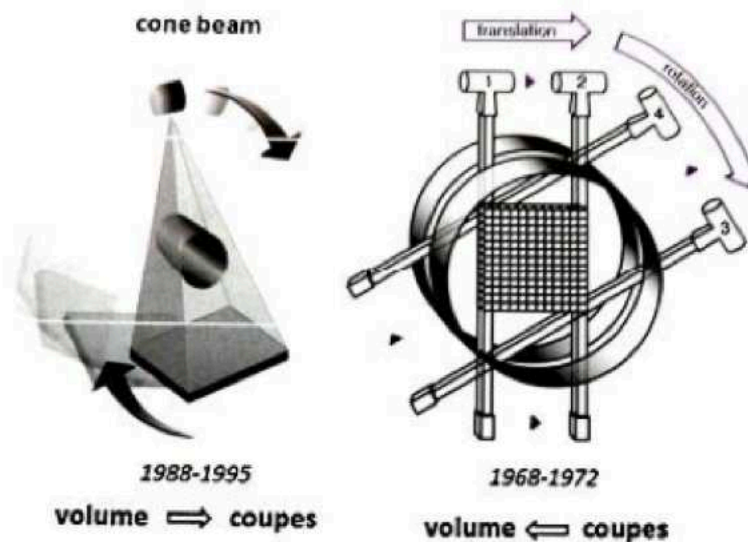


Figure 8: Principes d'acquisition du volume anatomique numérisé du Cone Beam (acquisition directe du volume et détermination secondaires des coupes) et scanner RX (acquisition première des coupes axiales pour construire le volume)(21)

2.2.2.2 Principe d'acquisition

Après le positionnement correct du patient, et la réalisation d'un « scout view », le praticien procède à l'acquisition du volume. Cette acquisition a un temps variable selon les machines et les programmes allant de 9 à 60 secondes.

Le rayon directeur est dirigé vers le centre de la région à étudier. Du côté opposé à la source de rayons X, se trouvent les récepteurs. La source et les récepteurs se font face, durant l'acquisition, ils tournent simultanément selon un cercle dont le centre s'inscrit dans la région étudiée. Le dispositif rotatif, qui ressemble à celui d'un appareil panoramique, réalise parfois moins d'un tour complet pour obtenir les données nécessaires(22).

Lors de l'acquisition radiographique, un nombre fini de projections planes numérisées par les capteurs est enregistré.

Les images obtenues correspondent aux données brutes, ces données vont être stockées et transformées en volume exploitable par reconstruction d'images, permettant ainsi l'exploitation de ses données par des logiciels de reconstruction 3D, surtout indiqué en implantologie.

2.2.2.3 Avantages et inconvénients de chaque type d'appareil

Une des conditions importantes d'acceptation de la nouvelle technologie 3D en dentisterie est la dose d'exposition du patient aux rayonnements. Le système cone beam présente des doses d'exposition qui sont significativement plus faibles que celle de la TDM(23).

Les radiographies tomodensitométriques scanner et cone beam sont toutes deux des techniques d'imagerie sectionnelles utilisées en bilan pré-implantaire. Chacune possède ses avantages et ses inconvénients.

Le choix doit être fait en fonction des résultats escomptés, et les bénéfices obtenus doivent confirmer l'indication posée, en permettant une planification implantaire de qualité.

	Scanner conventionnel	Cone Beam
Équipement	Lourd et volumineux	Assimilable à un appareil de radiographie panoramique
Prix	1-2 M€	50 000 à 100 000€
Localisation	Cabinet de radiologie	Possible au cabinet dentaire
Position pendant l'examen	Allongée	Assise ou allongée
Temps d'acquisition	3-5 secondes	9 à 60 secondes
Champ d'irradiation	Limité / Large	Fonction réglable
Artefacts	+++	+
Irradiation	Fonction du protocole	Faible
Visualisation des tissus mous	Oui	Non

Figure 9 : Tableau récapitulatif des propriétés du scanner et du cone beam(22)

3 L'apport de l'imagerie en pré-chirurgie implantaire

3.1 Élaboration du plan de traitement

3.1.1 Généralités

Le plan de traitement implantaire est le processus décisionnel qui conduit à la mise en place des implants, sélectionnés en nombre et en taille en fonction de différents critères comme l'âge et l'anatomie du patient, le type d'édentement, la qualité et la quantité osseuse, et surtout les désirs du patient. Un examen clinique et radiographique minutieux est indispensable.

Lors de l'examen clinique, il convient de procéder :

- A l'évaluation de la motivation et de la coopération du patient
- Au contrôle de la plaque dentaire
- A l'évaluation de l'hygiène de vie du patient (consommation de tabac et d'alcool)
- A l'évaluation des para-fonctions
- A l'évaluation des attentes du patient
- A l'examen exo-buccal
- A l'examen endo-buccal (classification de l'édentement (classification de Kennedy et Applegate(24)...))

Le cliché panoramique est un examen de débrouillage qui nous permet :

- D'évaluer l'anatomie de l'os alvéolaire
- Objectiver les structures environnantes
- D'évaluer le terrain parodontal du patient

Cet examen complémentaire à l'examen clinique nous permet de poser l'indication implantaire.

3.1.2 Aspect médico-légal

L'exercice de l'implantologie s'inscrit dans le cadre plus général de la chirurgie dentaire et de la chirurgie orale. Il n'existe pas de spécialité « implantologie » en France, la responsabilité civile professionnelle est donc la même que pour l'omnipratique. Cependant, quelques aménagements spécifiques ont été mis en place.

Dans le cadre de l'exercice médical, le praticien est soumis, sauf rare cas exceptionnel, à une obligation de moyens et non pas à une obligation de résultats. Schématiquement, le médecin est tenu de tout mettre en œuvre pour tenter de guérir son patient, mais n'est pas tenu de le guérir. En implantologie, cette obligation de moyens comporte :

- Consultation préopératoire
- Bilan de santé (y compris sanguin, orl et cardiaque si nécessaire...)
- Fiche médicale du patient
- Examen clinique
- Examens radiographiques : volet fondamental de l'obligation de moyen. Il contient en général une radiographie panoramique, des radios rétro-alvéolaires et éventuellement

un scanner dentaire ou cone beam si le site implantable est une zone à risque (secteurs postérieurs maxillaires et mandibulaires). Tous ces documents sont bien entendu archivés et conservés.

- Différents choix thérapeutiques
- Consentement éclairé du patient (écrit, daté et signé)
- Devis en double exemplaire daté et signé

3.2 Étude de faisabilité du projet implantaire

3.2.1 Indications thérapeutiques

On peut considérer aujourd'hui que toutes les édentations, unitaires, partielles, complètes, anciennes ou récentes, peuvent être des indications de traitement implantaire(25–27).

3.2.2 Contre-indications thérapeutiques

La prévention des complications per-opératoires passe par un entretien méticuleux avec le patient nous permettant d'évaluer les patients « à risques ».

Le risque peut être médical, infectieux, hémorragique, fonctionnel, biomécanique ou esthétique.

3.2.2.1 Les contre-indications absolues

- Cardiopathies à risques et à haut risque d'endocardite infectieuse(28)

Rappelons que les cardiopathies à risques sont constituées des valvulopathies aortiques ou mitrales, les cardiomyopathies obstructives ; les cardiopathies à haut risques sont les prothèses valvulaires aortiques ou mitrales, les cardiopathies congénitales cyanogènes et les antécédents d'endocardite infectieuse.

- Infarctus récent
- Insuffisance cardiaque sévère
- Déficits immunitaires congénitaux et acquis (SIDA) non traités
- Patients traités par immunosupresseurs ou corticoïdes au long cours
- Affections nécessitant ou devant nécessiter une transplantation d'organe
- Cancers en évolutions
- Affection du métabolisme osseux (ostéogénèse imparfaite...)

3.2.2.2 Les contre-indications générales relatives

- Diabète

Il augmente le risque d'altération de la cicatrisation et d'infection post-opératoire(29), contre-indication si non traité , non équilibré.

- Grossesse
- Insuffisance coronarienne
- Traitements anticoagulants
- Maladies auto-immunes
- Séropositivité
- Tabagisme important

Le tabac est considéré comme un facteur d'échec implantaire. Les fumeurs présentent un risque accru d'altération de la cicatrisation et du métabolisme osseux(30)(31).

- Maladies psychiatriques / Troubles psychologiques
- Toxicomanies, éthylisme
- Irradiation cervico-faciale

3.2.2.3 Les contre-indications locales

- Dermatoses buccales
- Maladies parodontales

Les pathogènes parodontaux présents au niveau des dents naturelles peuvent coloniser le sulcus péri-implantaire(32). Le risque d'apparition d'infections péri-implantaires est plus élevé chez les patients atteints de parodontite, en particulier pour les formes agressives. Il faudra donc assainir le parodonte et stabiliser la maladie avant d'envisager un traitement implantaire.

- Bruxisme
- Volumes osseux limités et proximités avec structures anatomiques
- Occlusion défavorable
- Présence de lésions osseuses avoisinantes
- Hygiène bucco-dentaire déficiente ou négligée

3.2.3 Examen radiologique du patient

3.2.3.1 Radiographie panoramique

L'examen orthopantomographique fournit une image complète des arcades dentaires et des structures osseuses qui les soutiennent. Même si elle est bien réalisée, une radiographie panoramique ne parvient cependant pas à fournir une bonne représentation dimensionnelle. La déformation atteint souvent 30% et ne permet donc absolument pas d'évaluer précisément le volume osseux. Malgré tout, cet examen donne une vue d'ensemble et permet d'évaluer la position et le volume des fosses nasales, le trajet du nerf alvéolaire inférieur, la position des *foramina* mentonniers et sous-orbitaires, la présence éventuelle de condensations, de néoformations kystiques et de tumeurs (33–35).

3.2.3.2 Radiographie rétro-alvéolaire

Les radiographies rétro-alvéolaires peuvent être réalisées même sans la présence d'éléments dentaires à l'aide d'angulateurs (Rinn) et avec la technique du long-cône. Ces radiographies, en particulier dans l'implantologie simple, permettent d'évaluer le volume osseux réel, car si elles sont réalisées avec une bonne technique, elles présentent un rapport 1:1. Elles sont très utiles pour déterminer la distance qui sépare le nerf alvéolaire inférieur ou le plancher du sinus de la crête alvéolaire. Elles sont de plus en plus indispensables pour évaluer, dans les édentements unitaires, l'orientation et la proximité des racines des dents adjacentes à l'édentement.

3.2.3.3 Tomographie assistée par ordinateur

La tomographie assistée par ordinateur dans le secteur de l'implantologie a permis l'étude approfondie des structures osseuses du massif facial, la détermination précise du siège de l'implant, de son diamètre, de sa longueur et de son angulation.

Le cone beam compte parmi les examens complémentaires les plus modernes pour une planification thérapeutique. C'est une méthode de choix pour identifier les structures anatomiques à respecter, les insuffisances osseuses à traiter et évaluer les sites de prélèvements(36).

3.3 Planification implantaire

En amont de l'acte chirurgical, le chirurgien-dentiste va chercher à obtenir à partir de ses examens radiographiques une planification implantaire la plus juste possible. En effet, cette planification va nous permettre de déterminer l'axe de l'implant, sa longueur, sa largeur, sa forme, sa position *via* l'analyse trois dimensions de la situation clinique.

La planification implantaire permet de prévisualiser la future position de l'implant en fonction de la future prothèse, de créer un guide chirurgical pour la mise en place des implants.

La mise en place d'un implant a toujours pour objectif une réhabilitation prothétique, esthétique et fonctionnelle. Il faut donc positionner l'implant en fonction de la future prothèse et non réaliser la prothèse en fonction de l'axe implantaire, lui-même déterminé par le volume osseux présent.

3.3.1 Quantité osseuse

A la suite de la perte des dents, il se produit une résorption osseuse de la crête alvéolaire qui, dans certains cas est très sévère. Si la perte des dents est due à une pathologie parodontale, l'alvéolyse est habituellement plus importante.

L'évaluation de la quantité osseuse est une étape très importante du diagnostic, elle sera réalisée à l'aide de toutes les techniques radiographiques disponibles. Le volume osseux (hauteur-épaisseur) dictera la dimension (longueur-diamètre) des implants à placer.

La radiographie rétro-alvéolaire nous permettra d'obtenir la hauteur d'os disponible mais en aucun cas l'épaisseur d'os disponible. Cette technique radiographique est utile dans un premier temps pour évaluer la possibilité de solution implantaire à proposer au patient.

Au moyen des logiciels de cliché rétro-alvéolaire, et à l'utilisation des outils de mesure disponibles, le praticien peut mesurer la hauteur d'os entre la crête alvéolaire et le sinus (figure 10) ou bien le nerf alvéolaire inférieur (figure 11).

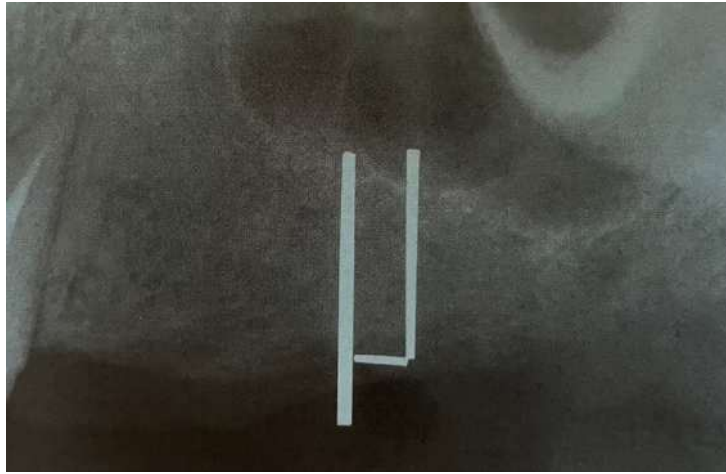


Figure 10 : Radiographie rétro-alvéolaire au maxillaire indiquant la hauteur d'os disponible(37)

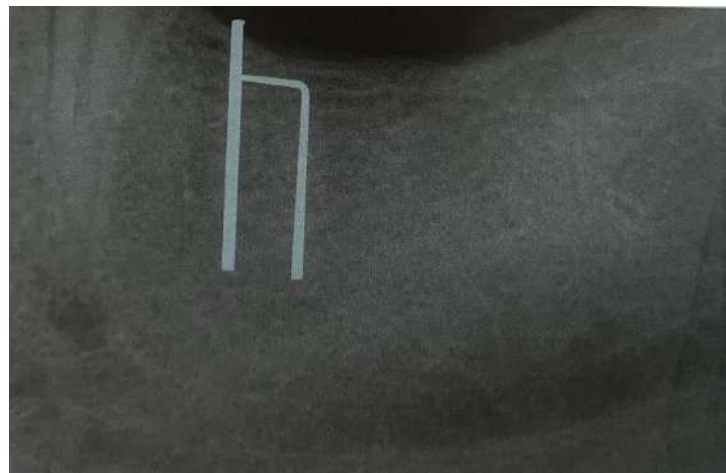


Figure 11: Radiographie rétro-alvéolaire à la mandibule indiquant la hauteur d'os disponible(37)

Pour mesurer le volume osseux disponible, il faudra faire appel à des radiographies en trois dimensions (type CBCT).

3.3.2 Qualité osseuse(38)

L'os est un tissu qui évolue en fonction des différents facteurs tels que les hormones, l'âge ou les influences mécaniques. Il faudrait estimer la qualité de l'os au niveau du site implantaire. Il n'existe pas de techniques instrumentales pour déterminer avec une précision absolue la densité osseuse (radiographie, densitométrie) ; il est cependant possible d'utiliser un schéma anatomique de distribution de l'os compact et de l'os spongieux.

Il est possible d'évaluer la densité osseuse à partir de différentes techniques radiographiques.

3.3.2.1 A partir d'une radiographie rétro-alvéolaire ou d'un cliché panoramique(39)

Une classification de la densité osseuse de l'os spongieux en trois catégories à partir de radiographies rétro-alvéolaires a été proposée (Lindhe et al. ; 1996)(39) :

- Trabécularisation clairsemée (classe 1)

- Trabéularisation intermittente (classe 2)
- Trabéularisation dense (classe 3)

Cette classification a l'avantage d'être simple, en revanche elle présente des limites :

- L'appréciation de la classe 2 : légère ou dense ?
- L'os cortical n'entre pas dans l'appréciation
- Le contraste des radiographies conventionnelles dépend de nombreux paramètres

La radiographie panoramique donne une idée générale de la qualité osseuse, surtout à la mandibule et en particulier dans les zones postérieures (cela est visible à partir d'une perte supérieure à 25% en minéral).

3.3.2.2 A partir d'une radiographie tomодensitométrique

La radiographie tomодensitométrique nous permet d'obtenir des coupes sur lesquelles on peut évaluer la densité osseuse. Pour cela différentes classifications existent :

- Classification de Lekholm et Zarb :

Lekholm et Zarb ont classé la densité osseuse en 4 types allant du type 1 au type 4 (figure 12). La classification se base sur la quantité d'os spongieux et d'os cortical ainsi que sur leur densité.

Le type 1 est principalement constitué d'os cortical compact, le type 2 d'une couche d'os cortical et d'une couche d'os spongieux dense, le type 3 d'une plus fine couche d'os cortical avec de l'os spongieux peu dense et pour finir le type 4, lui est formé d'une infime couche d'os cortical et d'os spongieux peu dense(40).

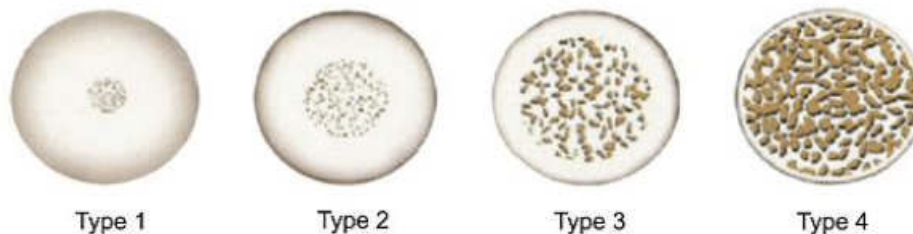


Figure 12 : Schéma de la classification de Lekholm et Zarb(40)

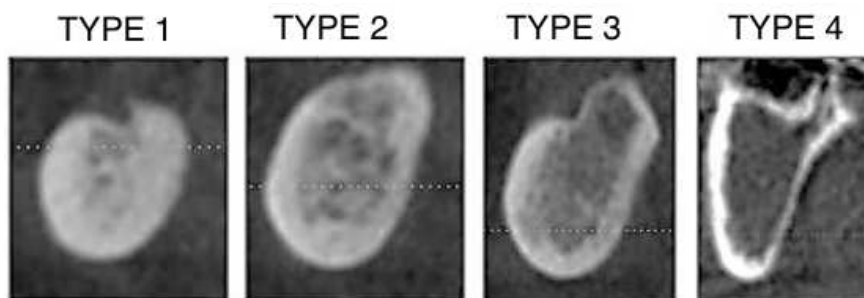


Figure 13 : Photos radiographique de la classification de Lekholm et Zarb(41)

Les deux chercheurs ont également décrit la résorption de la mâchoire selon le degré de perte osseuse en cinq classes, de A à E, A étant la plus favorable et E celle ayant subi la plus forte résorption osseuse(40).

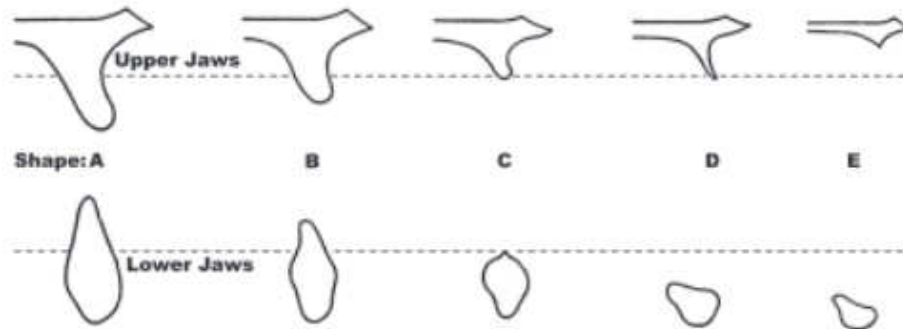


Figure 14 : Classification de Lekholm et Zarb de la résorption osseuse(40)

- Classification de Misch et Kircos :

La deuxième classification que nous allons voir se base sur l'unité Hounsfield (HU), et répertorie cinq groupes (D1 à D5). Cette unité utilise des CT scans en mesurant le coefficient linéaire d'atténuation, appelé μ , de chaque tissu. Cette formule utilise également ce coefficient pour l'eau ($\mu(\text{eau}) = 0\text{HU}$) et pour l'air ($\mu(\text{air}) = -1000\text{HU}$)(42)(43).

D1 correspond à des valeurs supérieures à 1250 HU, D2 à des valeurs entre 850 et 1250 HU, D3 entre 350 et 850 HU, D4 entre 150 et 350 HU et D5 à moins de 150 HU.

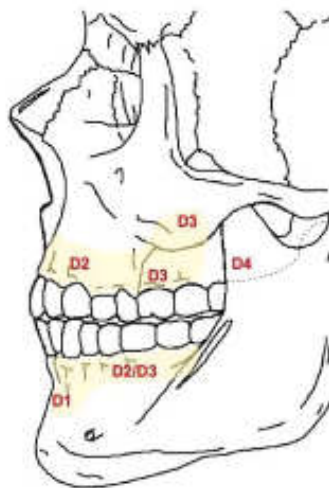


Figure 15 : Répartition osseuse selon Misch et Kircos(42)

3.3.3 Évaluation des rapports avec les structures anatomiques voisines

Un volume osseux minimal dans les trois plans de l'espace est nécessaire pour envisager la mise en place d'un implant osseux afin de minimiser les risques de complications et d'échecs. La tomographie, avec les reconstructions tridimensionnelles et la planification assistée

par ordinateur, permet le positionnement des implants en évitant les structures vitales. Il est alors possible de réaliser des guides chirurgicaux qui majorent la précision de la planification implantaire et changent véritablement l'approche chirurgicale(44).

3.3.3.1 Dans le sens mésio-distal

Généralement, la distance à respecter est :

- Entre un implant et une dent : supérieure ou égale à 1,5mm(45)
- Entre deux implants : supérieure ou égale à 3mm(46)

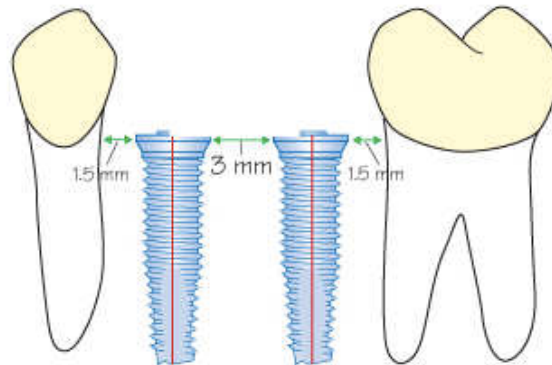


Figure 16 : Positionnement des implants dans le sens mésio-distal(47)

3.3.3.2 Dans le sens vestibulo-lingual

En générale, lorsque le site est guéri et sans exigence esthétique, un espace d'au moins 1mm avec les tables vestibulaires et linguales est nécessaire.

Dans des sites post-extractionnel ou bien esthétique, il est nécessaire de prévoir une lyse osseuse péri-implantaire en forme de cratérisation. L'épaisseur de la paroi vestibulaire doit alors être supérieure ou égale à 2mm(39).

3.3.3.3 Dans le sens corono-apical

Les obstacles anatomiques tels que le sinus maxillaire, les fosses nasales, le canal palatin antérieur, le foramen mentonnier compliquent le positionnement des implants dans le sens vertical.

3.3.3.3.1 Au maxillaire

- Situation du canal palatin antérieur (canal incisif)

Le canal palatin antérieur s'ouvre, à l'extrémité antérieure de la suture intermaxillaire, par le *foramen* incisif et peut constituer un obstacle lors de la planification et de la pose d'implant en cas d'édentement antérieur. Ce canal et son *foramen* tendent à se développer principalement du côté de l'édentement, participant à l'atrophie du procès alvéolaire. En effet, dès lors que ce canal est volumineux, il limite la distribution des implants dans le sens mésio-distal du secteur antérieur maxillaire.

L'observation de la structure du canal palatin antérieur a permis de constater des variations anatomiques concernant :

- Le dédoublement du canal palatin antérieur sur une partie de son trajet
- Un cheminement rectiligne, incurvé et oblique

Ces détails morphologiques influent sur l'anesthésie locale ainsi que le placement des implants(48).

Le canal palatin antérieur et le *foramen* incisif sont susceptibles de présenter des modifications anatomiques intéressant leur morphologie et leur dimension. Pour éviter toutes complications lors de l'insertion des implants, les reconstructions scanner préopératoires sont essentielles(49).



Figure 17 : Visualisation du foramen incisif sur une coupe scanner axiale(50)

- Situation des fosses nasales :

A l'exception d'un phénomène de résorption verticale important, les fosses nasales ne constituent pas un véritable obstacle anatomique pour le placement des implants. Un implant qui engage la corticale de la paroi inférieure du plancher des fosses nasales est stabilisé sans présenter d'événements accidentels(51).

- Situation du sinus maxillaire :

La mise en place des implants en région postérieure maxillaire présente fréquemment des difficultés en raison de la présence du sinus au-dessus du site opératoire. Cet obstacle anatomique est levé par différentes procédures chirurgicales.

L'abord sinusien par voie crestale et l'installation simultanée d'un ou plusieurs implants ont rapporté des succès tout à fait comparables à ceux rapportés après un placement conventionnel des implants dans les édentements postérieurs maxillaires(52).

Cependant, la fréquence, la localisation, la diversité anatomique et la dimension des septa sinusiens peuvent générer un risque lors de l'insertion des implants(53).

La radiographie panoramique (en examen de première intention) mène, dans une majorité des cas, à des diagnostics de faux positifs ou faux négatifs lorsqu'il s'agit de visualiser les *septa* sinusiens. Seule la tomодensitométrie assistée par ordinateur identifie avec une haute résolution les septa sinusiens(54).

La tomодensitométrie permet également de mesurer avec exactitude la hauteur d'os disponible et ainsi de poser l'indication des greffes de sinus. La classification de Misch (1999), est descriptive et classe les thérapeutiques en fonction de la résorption osseuse du maxillaire.

Groupes	Hauteur disponible sur le site implantaire	Traitement disponible
SA 1	>12mm	Pose d'implant classique
SA 2	10-12mm	Pose d'implant et augmentation simultanée de sinus par voie crestale
SA 3	5-10mm	Augmentation de sinus par voie latérale et pose simultanée ou différée des implants
SA 4	<5mm	Augmentation de sinus par voie latérale et pose différée de l'implant

Figure 18 : Classification de Misch (1999)(55)

SA = subantral

Les indications ont maintenant évolué, la technique de « soulevé de sinus » dite de « Summers » permet de poser des implants lorsqu'il y a une épaisseur de 5 mm d'os sous le sinus, sans recourir à une augmentation de sinus proprement dite.

3.3.3.3.2 A la mandibule

- Situation du nerf alvéolaire inférieur :

Les préjudices les plus fréquents qui accompagnent la lésion du nerf alvéolaire inférieur, secondaires à un traitement implantaire, sont des dysfonctions sensorielles persistantes (paresthésies, dysesthésies, douleurs aiguës ou chroniques, une combinaison de signes de neuropathies). Ces complications, exceptionnelles et généralement réversibles lorsque l'implant est retiré(56), sont fréquemment attribuées à une mauvaise interprétation du scanner pré-implantaire.

En effet, le trajet du nerf alvéolaire inférieur dans le canal mandibulaire est quelquefois imperceptible malgré le rapprochement des différentes coupes tomodensitométriques et notamment lorsque la mandibule est déminéralisée(57).

Il n'est pas rare de dépister, par l'examen tomodensitométrique, des variantes du canal mandibulaire (canal bifide, trifide ou deux canaux mandibulaires séparés)(58,59). Ces multiples situations exigent une précision extrême dans la planification des implants.



Figure 19 : Visualisation du canal alvéolaire inférieur sur un cliché rétro-alvéolaire(60)

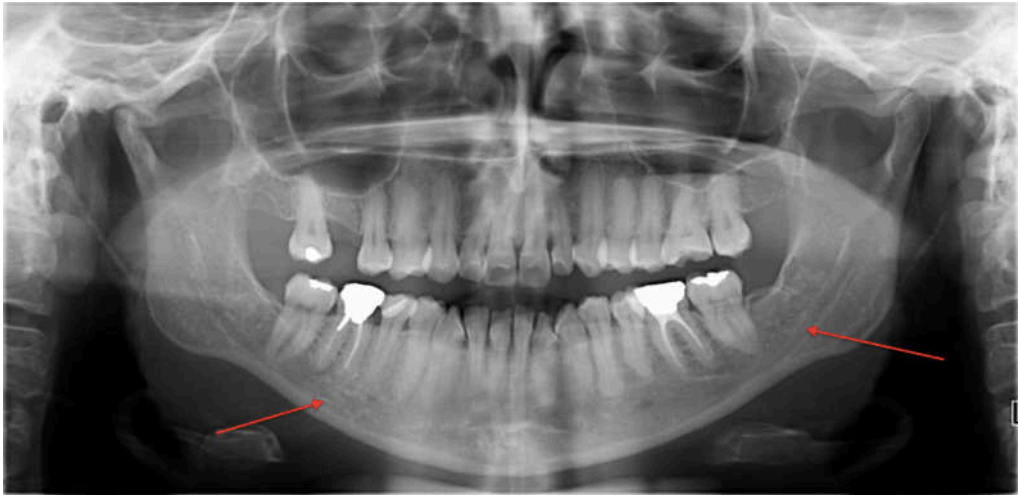


Figure 20 : Visualisation du canal alvéolaire inférieur sur une radiographie panoramique(61)

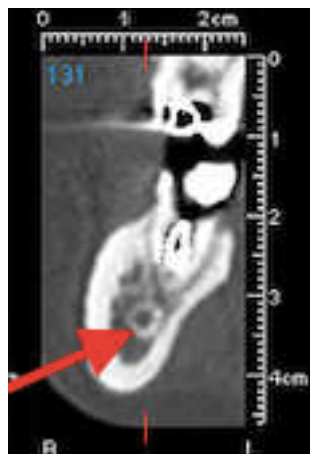


Figure 21 : Visualisation du canal alvéolaire inférieur sur une radiographie tomodensitométrique(62)

- Situation de la lacune de Stafne

La découverte inhabituelle d'une image évocatrice d'un kyste sur une radiographie panoramique siégeant entre la région de l'angle mandibulaire et la région prémolaire, peut dissimuler une lacune de Stafne(63). Il s'agit d'une concavité étendue le plus souvent ouverte sur le versant lingual mandibulaire (probable empreinte sur la corticale linguale de la glande sous-maxillaire) et qui, après examen tomodensitométrique pour confirmer le diagnostic, expose une insuffisance osseuse transversale(64).

Ce déficit osseux n'évolue pas. Il est asymptomatique et, au sens strict du terme, la lacune de Stafne ne constitue pas une affection. Toutefois, l'absence de volume osseux peut se révéler comme un obstacle à la mise d'implants en région molaire mandibulaire selon la forme du défaut osseux(65).



Figure 22 : Lacune de Stafne représentée sur une panoramique dentaire et sur un cliché tomodensitométrie(66)

3.3.4 Guides radiologiques

3.3.4.1 Présentation des guides radiologiques

Comme dit en amont dans ce chapitre, la mise en place d'un implant a toujours pour objectif une réhabilitation prothétique, esthétique et fonctionnelle. Il faut donc positionner l'implant en fonction de la future prothèse et non réaliser la prothèse en fonction de l'axe implantaire, lui-même déterminé par le volume osseux présent.

Après avoir étudié l'anatomie de notre patient, il est impératif de voir si nos projets implantaire et prothétique coïncident. Pour cela, nous allons confectionner un guide radiologique.

Les guides radiologiques sont réalisés à partir des modèles de diagnostic(2). Ces guides ont plusieurs objectifs :

- Répondre aux exigences prothétiques relatives à la distribution et au nombre d'implants nécessaire
- Évaluer le volume osseux en rapport avec les sites implantaires(67)
- Renseigner la morphologie d'une insuffisance osseuse
- Estimer la hauteur des tissus gingivaux comprise entre l'intrados du guide et la crête
- Se convertir en guide chirurgical : lors de chirurgie guidée statique

La forme des guides radiologiques diffère en fonction de l'édentement (unitaire, partiel ou total) et du type de support (appui dentaire ou muqueux).

Les guides radiologiques réunissent des repères radio-opaques qui contribuent à la lecture des examens radiologiques(68,69). Trois formes sont principalement utilisées :

- Le repérage peut être réalisé en mettant en place de la gutta percha dans l'intrados de la prothèse en résine préexistante ou de la prothèse transitoire en regard de l'émergence souhaitée des futurs implants(70).

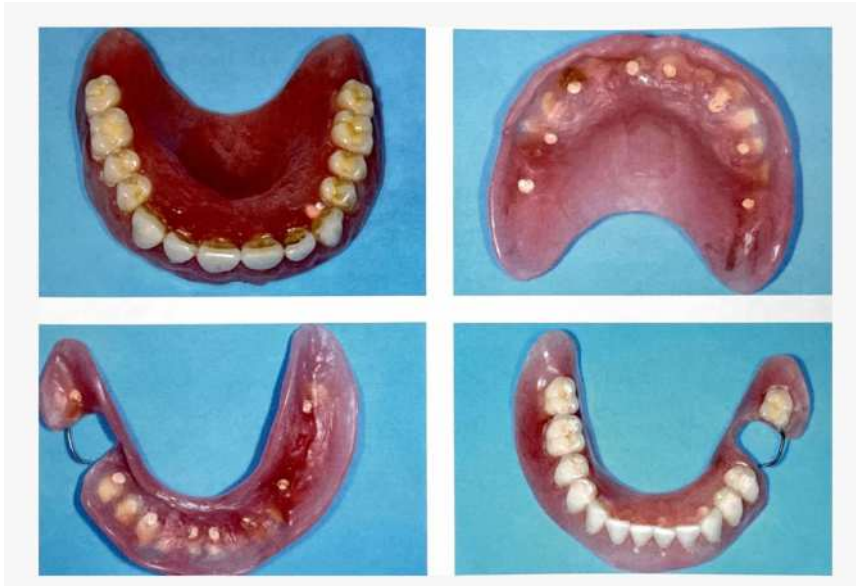


Figure 23 : Les prothèses transitoires sont utilisées comme guides radiologiques. L'émergence des implants dans leur position idéale est repérée à l'aide de perforations de l'intrados pourvues de gutta-percha(7)

- L'incorporation de tube en titane dans une clé en élastomère permet la fabrication d'une base en résine transparente. Ce métal a l'intérêt de ne pas provoquer d'artéfacts lors des examens radiologiques. L'axe des tubes représente la position idéale de l'implant avec les exigences esthétiques et fonctionnelles de la future prothèse.

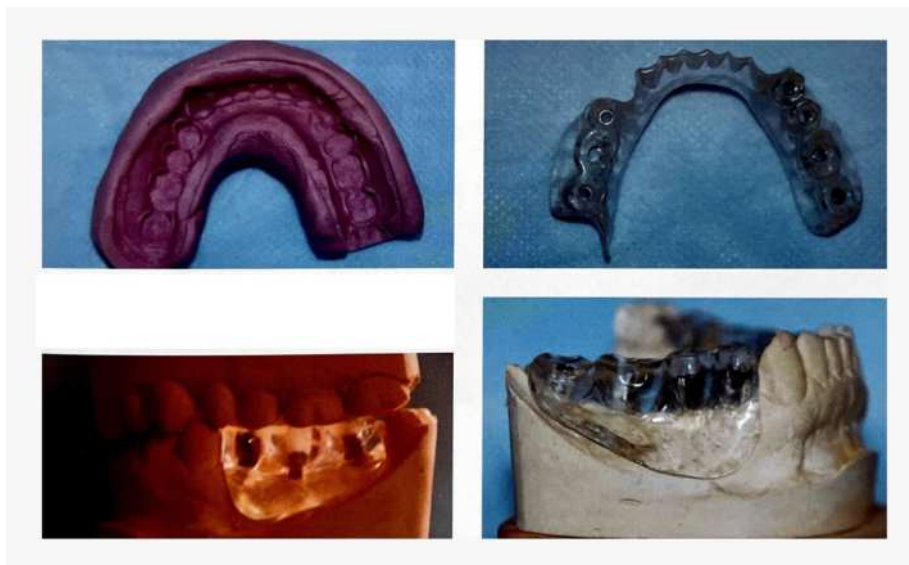


Figure 24 : Guides radiologiques avec repères tubulaires en titane(7)

- Les guides à phase de contraste sont des plaques thermoformées en résine auxquelles sont incorporées un sel radio-opaque, généralement du sulfate de baryum ou des dents barytées(71).



Figure 25 : Guide radiologique avec une arcade dentaire réalisée en résine barytée(7)

3.3.4.2 Avantages et inconvénients des différents guides radiologiques

Types de guides radiologiques	Avantages	Inconvénients
Avec repères en gutta-percha	Coût Simplicité	Le repère radiographique n'intéresse que l'émergence de l'implant Ne peut être utilisé dans l'intrados d'une PAP à châssis métallique préexistante
Avec des tubes titanes	Visibilité de l'axe idéal de l'implant en rapport avec l'occlusion	Difficulté de transformation en guide chirurgical lorsque le tube doit être déplacé
Imprégné d'un produit radio-opaque	Estimer l'épaisseur gingivale Apprécier l'axe de l'implant Modéliser la morphologie de la future prothèse Localiser les déficits verticaux, horizontaux, transversaux ou combinés Faciliter l'utilisation des logiciels de planification implantaire.	Coût

Figure 26 : Avantages et inconvénients des différents guides radiologiques(7)

Pour conclure, le choix du matériel (type d'implant...) et du protocole dépend de la qualité osseuse et doit être choisi lors de la phase diagnostique pré-implantaire à l'aide d'examen radiographique.

L'examen complémentaire de première intention est le cliché panoramique qui nous renseigne rapidement sur le volume osseux disponible ; en revanche sa valeur diagnostique quant à la qualité osseuse est très limitée.

La nécessité d'effectuer un bilan radiographique pré-implantaire plus poussé de type cone beam est indispensable. Cela nous permettra, avec précision, d'évaluer le volume osseux disponible mais également la densité et donc la valeur qualitative.

3.3.5 Le flux numérique dans le traitement implantaire

La réalisation d'une empreinte optique de la situation initiale (maxillaire, mandibule et occlusion) permet l'obtention d'un fichier .stl qui pourra être envoyé au laboratoire de prothèse afin qu'un projet prothétique virtuel soit élaboré.

L'intérêt de ce processus numérique est de pouvoir, en temps réel, et par partage d'écran, communiquer avec le laboratoire de prothèse afin d'affiner, d'améliorer, de modifier ce projet prothétique quasiment instantanément selon nos doléances et celles du patient. Une fois le projet prothétique désigné et validé, il va être usiné en résine PMMA (polyméthacrylate de méthyle) afin de pouvoir valider en bouche, avec le patient, son intégration esthétique, et fonctionnelle.

C'est seulement après ces différentes étapes que la planification des implants pourra être réalisée, en relation avec un projet prothétique préfigurant les prothèses provisoires et définitives. Un *cone beam* moyen champs est réalisé. Via les logiciels de planification, le fichier numérique .stl de l'empreinte optique associé à son wax up virtuel sera matché (superposé) au fichier DiCom du *cone beam*.

Ce matching est possible grâce à la présence d'éléments remarquables (au moins 3 points de repères) présents sur les 2 fichiers. Ainsi, il sera obtenu sur le même fichier : l'os du patient, ses dents, sa muqueuse et le projet prothétique envisagé ; tous visualisés ensembles(72). La planification des implants va ainsi pouvoir être réalisée en fonction des volumes osseux disponibles, à distance des obstacles anatomiques et en relation avec le projet prothétique. Le choix des piliers prothétiques (connectiques entre implant et prothèse) pourra être anticipé grâce à la matérialisation précise de l'épaisseur de muqueuse.

4 L'apport de l'imagerie en per-chirurgie implantaire

4.1 La chirurgie guidée : généralités de la chirurgie implantaire

La chirurgie guidée implantaire doit se dérouler précisément et conformément à la planification et la simulation implantaire. Cela implique la présence d'un guidage dirigé et contraignant qui concerne à la fois l'étape du forage du lit osseux et à l'étape de la pose de l'implant.

4.1.1 Protocole

La réussite d'une chirurgie implantaire passe par l'exécution d'un protocole minutieux.

Nous allons succinctement détailler ce protocole :

- **Incisions** : on distingue trois types d'incisions : crestale, vestibulaire et palatine. Les incisions sont réalisées à l'aide d'une lame Bard-Parker numéro 15 qui est montée sur un bistouri.
- **Élévation du lambeau** : les lambeaux peuvent être décollés s'il s'agit d'un lambeau de pleine épaisseur ; l'opération est alors réalisée avec un décolleur (Bar-Wide). S'il s'agit d'un lambeau d'épaisseur partielle, ils sont élevés après incision au bistouri.
- **Chirurgie sans lambeau** : dans certains cas particuliers, si l'examen radiographique montre la présence d'une quantité osseuse suffisante aussi bien en hauteur qu'en épaisseur, on peut réaliser une operculisation des tissus muqueux sans élever de lambeau, et insérer l'implant à travers cet opercule(73,74) si la quantité de gencive attachée est suffisante.
- **Préparation du site implantaire** : après avoir élevé le lambeau, nous allons placer notre guide chirurgical qui nous permettra de réaliser les forages d'accès selon l'angulation et la profondeur programmées. La préparation du site comprend les étapes suivantes : forage, filetage et irrigation.
- **Mise en place de l'implant** : l'implant est extrait de sa boîte stérile et vissé manuellement dans le site préparé à l'aide d'un support pré inséré, jusqu'à ce que l'on rencontre une certaine résistance. On utilise alors une clé à cliquet ou le contre-angle pour terminer le vissage de l'implant. Le contre-angle peut être utilisé en première intention.
- **Mise en place de la vis de couverture** : la vis de couverture est positionnée dans un cône d'évasement au sein même de l'implant, au niveau du col.
- **Sutures** (différentes selon qu'il s'agit d'un implant enfoui ou trans-gingival)

4.1.2 Guides chirurgicaux

La tomodensitométrie avec le guide radiologique en bouche constitue le premier maillon de la chaîne de transmission des données informatiques. L'objectif de cette étape est de restituer

fidèlement les rapports qu'entretiennent les bases osseuses avec le projet prothétique (implant et couronne) en termes d'axe dans les directions mésio-distales et vestibulo-linguales. Une fois le projet validé radiologiquement nous passons à l'étape chirurgicale. Le guide radiologique peut alors être transformé en guide chirurgical(75).

Le guide chirurgical doit transférer la planification virtuelle de l'implant à son environnement clinique(76). Les guides chirurgicaux sont classés selon leur niveau de guidage (partiel ou total) ou bien selon la surface avec laquelle il entre en contact : dentaire, muqueuse ou osseuse.

Lors de la chirurgie implantaire, le guide chirurgical est mis en bouche de la même façon que lors de la radiographie préopératoire. Le guide perforé aux endroits des futurs implants va permettre de guider le chirurgien-dentiste dans sa séquence de forage.

4.2 Contrôle de l'axe implantaire

Lors de la pose d'un implant dentaire, l'utilisation de guide chirurgical n'est pas obligatoire, on peut réaliser une chirurgie à main levée. Il est alors possible de vérifier l'axe de notre implant grâce à une radiographie rétro-alvéolaire de contrôle. Soit-nous disposons d'un appareil radiographique portable pour réaliser la radiographie au bloc, ou bien le bloc opératoire est équipé d'une radio.

4.3 L'apport de la radiographie dans la gestion des complications immédiates

Pendant l'intervention chirurgicale, différentes complications peuvent arriver, habituellement à la suite d'un examen erroné des structures anatomiques du patient ou bien d'un mauvais plan de traitement.

Voici une liste non exhaustive de complications possibles : hémorragie, lésion nerveuse, effraction du sinus maxillaire, perte accidentelle d'un implant dans le sinus, fracture de la crête alvéolaire, inhalation/déglutition par le patient d'un composant...

4.3.1 Perte accidentelle d'un implant dans le sinus

La migration d'implant dans le sinus est une complication fréquente depuis l'apparition des techniques permettant d'augmenter la hauteur d'os sous-sinusienne. Un implant qui est projeté dans le sinus ne sera pas immobile, l'objectif de l'imagerie est de confirmer ou non la présence de l'implant dans le sinus.

L'examen de choix dans cette situation est la radiographie panoramique(77,78)



Figure 27 : Radiographie panoramique confirmant la présence d'un implant intrasinusien(78)

4.3.2 Ingestion d'un composant

L'ingestion de composants dentaires (implant, limes endodontiques...) donne des signes cliniques différents en fonction de la situation géographique du composant dans le corps.

Ne disposant pas des systèmes de radiographies adéquates au cabinet dentaire, lors de ce type de complications, il est recommandé d'adresser le patient pour une radiographie intestinale. Les techniques de radiologies conventionnelles sont très utiles pour mettre en évidence la présence d'un corps étranger de nature radio-opaque, et permettent également, la surveillance de son trajet dans le tube digestif.



Figure 28 : Radiographie permettant de suivre le trajet d'un implant dans le tube digestif(79)

4.3.3 Effraction accidentelle de la corticale inférieure de la mandibule

L'effraction de la corticale inférieure peut être accidentelle ou volontaire.

L'effraction peut être dû à une longueur d'implant inadéquat par rapport à l'os disponible, ou bien à une mauvaise angulation de la pièce à main lors du forage.

La radiographie panoramique permettra de mettre en évidence l'effraction de la corticale inférieure d'un implant trop long (figure29).

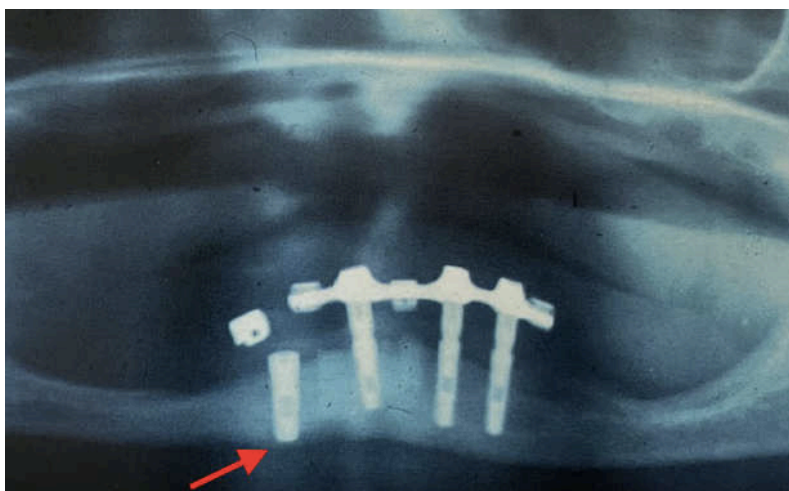


Figure 29 : Cliché panoramique mettant en évidence l'effraction de la corticale inférieure de la mandibule de l'implant en 44(79)

L'effraction de la corticale linguale de la mandibule peut être mis en évidence à partir d'un cliché tomodensitométrique (figure 30). Ce schéma montre qu'il est nécessaire d'avoir une coupe pour voir l'effraction.

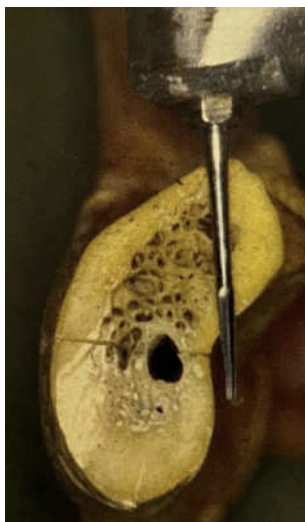


Figure 30 : Coupe d'une mandibule avec un mauvais axe du forêt entraînant une effraction de la corticale linguale(79)

4.3.4 Inhalation d'un composant

L'inhalation d'un composant dentaire lors d'une chirurgie implantaire est une urgence médicale vitale immédiate. Le patient doit être adressé de toute urgence à un service hospitalier pour une prise en charge immédiate.

La radiographie permettra de situer l'élément dans système respiratoire.



Figure 31 : Radiographie pulmonaire mettant en évidence un tournevis dans le poumon droit du patient(79)

4.4 Nouvelles technologies : chirurgie naviguée : le système X-GUIDE

En 2015 est apparu un nouveau système de navigation dynamique chez la société Nobelbiocare™. Ce nouvel outil permet à la fois de réaliser la planification implantaire et le report en bouche de cette planification.

Le logiciel comporte alors deux parties : une partie planification et une partie chirurgicale.

4.4.1 Présentation

Il s'agit d'un système de navigation chirurgicale mobile utilisant la technologie vidéo permettant de suivre le déplacement ainsi que la position de l'instrument chirurgical (pièce à main) pendant la chirurgie implantaire.



Figure 32 : Xguide (Nobelbiocare)

Le logiciel X-Nav possède une barre de menu intuitive qui rend son utilisation facile. Cet agencement simplifié divise en trois catégories principales le flux de travail :

- Planification implantaire
- Étalonnage
- Chirurgie

4.4.2 Planification

Lors de l'examen tomodensitométrique, deux dispositifs vont pouvoir être mis en bouche :

- X-clip : il sera fixé sur les dents (patients dentés)
- E-clip : il sera fixé dans l'os à l'aide de repères de références pour les patients édentés

Le choix de position de ses dispositifs est important, en effet lors de la chirurgie, ils devront être repositionnées de façon similaire afin de permettre au logiciel, en peropératoire, de fusionner l'examen radiographique et la situation clinique immédiate pour guider le praticien dans sa pose implantaire.

4.4.3 Phase chirurgicale

L'intérêt majeur de ce dispositif est de suivre les mouvements en temps réel sur le scanner pré-implantaire. Ce suivi est possible à l'aide de la mise en place de différents capteurs sur le patient et sur la pièce à main.

La radiographie 3D préopératoire est en permanence utilisée lors de la chirurgie à l'aide du X-GUIDE. Sur l'écran nous avons différentes informations :

- Un système de cible constitué de 3 éléments : un point bleu qui correspond à l'émergence de l'implant, un cylindre qui correspond à l'axe de l'implant, une jauge de profondeur disposée autour de la cible.
- Les reconstructions multiplanaires ou coupes MPR, sur lesquelles on peut voir la planification implantaire, le contour du fichier STL, du projet prothétique et le contour virtuel du forêt.
- Le retour vidéo des 2 caméras montrant que le système fonctionne correctement.

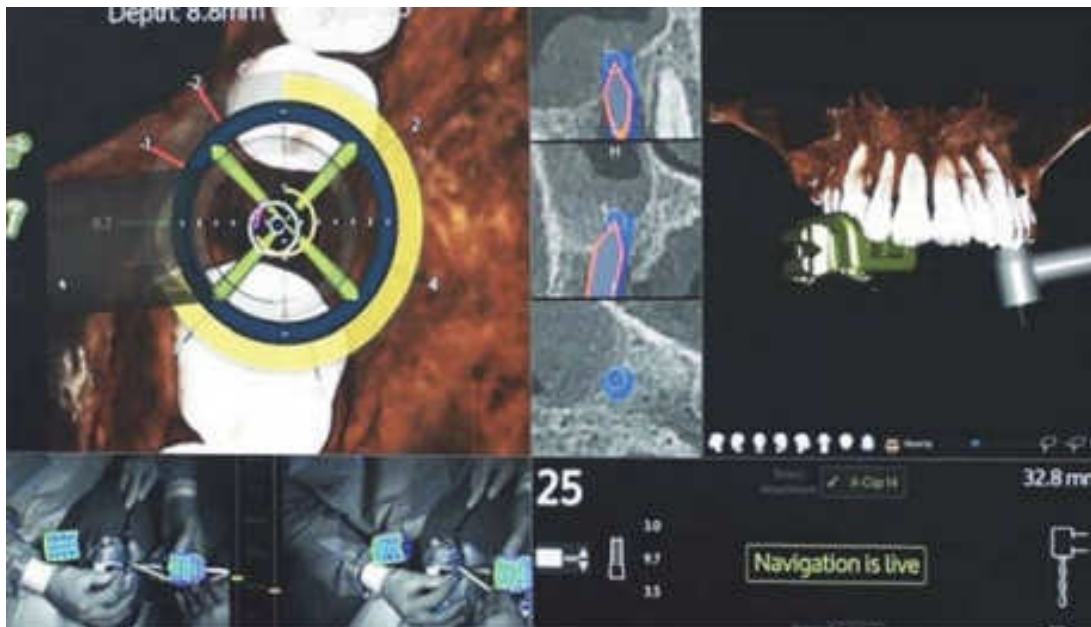


Figure 33 : Écran de l'ordinateur au cours d'une chirurgie implantaire à l'aide du X-GUIDE

Lors de la chirurgie, le chirurgien-dentiste regarde uniquement l'écran d'ordinateur pour suivre la planification, c'est à l'aide opérateur de vérifier cliniquement et de stopper l'intervention si apparition d'une complication. Cela implique que que l'assistante doit être formée sur le protocole chirurgical implantaire.

4.4.4 Avantages et inconvénients

Les avantages de ce nouveau système sont multiples :

- Permet une meilleure communication avec le patient
- C'est un système qui est adaptable : on peut changer l'angulation de l'implant à tout moment lors de la chirurgie implantaire
- Une grande précision : les résultats démontrent une supériorité des systèmes de navigation dynamique par rapport à la chirurgie implantaire à main levée(80)(annexe I)
- Confort pour le praticien
- Asepsie

Le X-GUIDE présente quelques inconvénients :

- Il y a une courbe d'apprentissage importante
- Le temps de calibration du système peut être un peu long
- Le positionnement et la fixation du X-clip est une étape importante du système. Pour assurer une reproductibilité de la planification lors de la chirurgie, le dispositif doit être totalement immobile et positionné sur des dents rétentives avec un statut parodontal stable. Chez les patients édentés, ce problème n'apparait pas, car le protocole est différent. Le fait de placer sous anesthésie locale des vis d'ostéosyntheses avec le E-clip procure une stabilité et une reproductibilité de l'examen tomographique à la chirurgie.
- L'encombrement du système : il est nécessaire d'avoir un bloc chirurgical assez spacieux pour pouvoir accueillir le X-GUIDE
- Le coût de la machine qui peut aller de 39 000€ à 45 000€

5 L'apport de l'imagerie en post-chirurgie implantaire

5.1 Contrôle de la cicatrisation

Le délai de cicatrisation d'un implant correspond au moment où la plaie a entièrement cicatrisé et où le tissu osseux péri-implantaire s'adapte parfaitement à la surface de l'implant, en s'intégrant à ce dernier (ostéo-intégration). Le délai d'ostéo-intégration n'est jamais inférieur à 6 semaines(81).

Il est primordial de référencer radiographiquement le niveau osseux immédiatement après la mise en place de l'implant et de la prothèse, ce qui permet une interprétation plus aisée des niveaux osseux proximaux lors du suivi(82). Il a été décrit qu'un remodelage du niveau osseux coronaire de 1,5 mm est observé lors de la première année de suivi, on observe un remodelage de 0,1 mm les années suivantes pour les implants lisses possédant une connexion de type hexagone externe(26). Ce remodelage semble plus réduit sur les implants intégrant des micro spires et une connexion avec une « platform switching »(83,84).

La radiographie panoramique permet en post-opératoire un contrôle immédiat d'implantations multiples. Cette radiographie permet également de voir si l'on a respecté les structures nobles avoisinantes (nerf alvéolaire inférieur, sinus...).

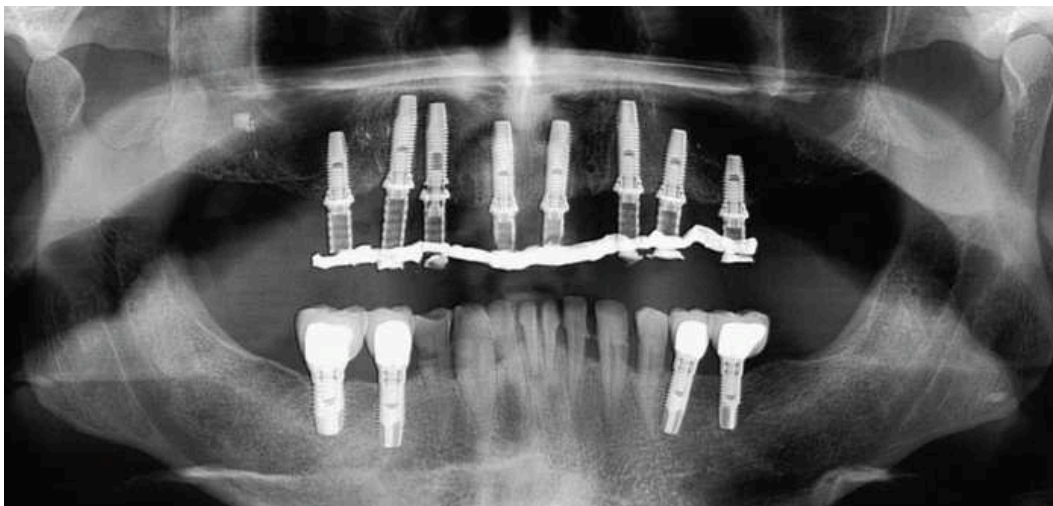


Figure 34 : Contrôle initial d'implants multiples maxillaires par panoramique dentaire(85)

Le cliché rétro-alvéolaire permet d'être plus précis sur la zone d'implantation et de pouvoir renseigner plusieurs informations :

- Mesurer la perte osseuse en mm (1,5mm la première année et ensuite inférieure à 0,1mm : c'est un outil de comparaison)
- Préciser le nombre de spires exposées



Figure 35 : Rétro-alvéolaire de contrôle implantaire à 2 mois(86)

La radiographie rétro-alvéolaire est un moyen de comparaison dans le temps. Des radiographies à l'aide d'angulateur de Rinn permettent d'assurer la reproductibilité des clichés et donc une comparaison fiable dans le temps.

L'examen tomodensitométrique n'est pas indiqué en postopératoire si aucune complication ne fait surface.

5.2 Complications précoces et tardives

On différencie les complications postopératoires précoces des complications postopératoires tardives par rapport au moment où elles apparaissent. Les premières interviennent tout de suite après l'intervention ou au bout de 24-48 heures alors que les secondes lors de l'exposition des implants, c'est-à-dire au bout de 3-4 mois environ.

5.2.1 Complications précoces

5.2.1.1 Complications inflammatoires

Les interventions en implantologie orale se manifestent souvent avec l'apparition d'un œdème postopératoire localisé.

Il n'existe pas d'indication radiologique pour ce type de complication.

5.2.1.2 Complications hémorragiques/hématomes

Si une chirurgie atraumatique est réalisée avec des lambeaux faiblement décollés, ces phénomènes sont en général limités.

La radiographie interviendra principalement pour prévenir ce risque de complication pour situer les vaisseaux en préopératoire.

5.2.1.3 Complications nerveuses

Le risque de complication nerveuse est principalement rencontré à la mandibule. L'atteinte du nerf alvéolaire inférieur est responsable de troubles sensitifs de type hypoesthésie, d'anesthésie ou de paresthésie dans la zone concernée(87).

Les lésions nerveuses peuvent être différenciées en deux catégories : temporaire et définitive.

La lésion temporaire apparaît quelques heures après la chirurgie, souvent occasionnée par un hématome post chirurgical se traduisant par une paresthésie loco-régionale. Des anti-inflammatoires peuvent être prescrits, cela accélèrera le processus de guérison. Elle se fera au bout de quelques semaines(79).

L'apparition de la paresthésie après disparition de l'anesthésie permet le diagnostic différentiel avec la lésion temporaire. La lésion du nerf est causée par la préparation instrumentale du site osseux receveur.

Les radiographies panoramique et rétro-alvéolaire permettent de confirmer les signes cliniques décrit par le patient.

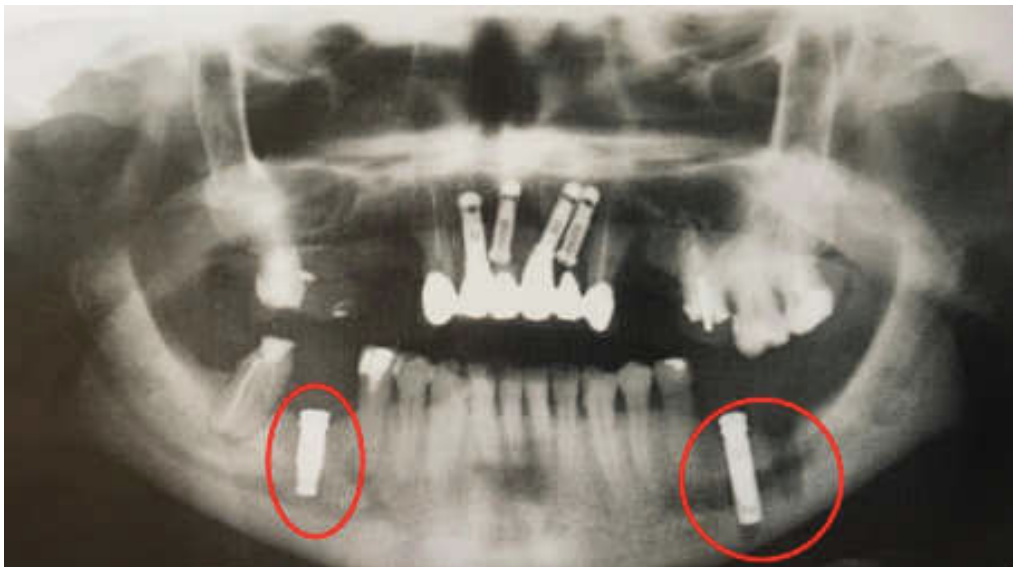


Figure 36 : Radiographie panoramique sur un patient présentant des paresthésie à gauche et à droite (document d'expertise : Philippe Leclercq)(79)

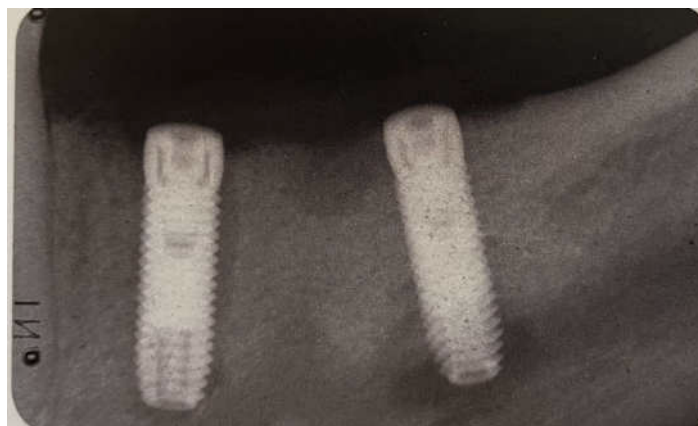


Figure 37 : Rétro-alvéolaire montrant la compression du nerf alvéolaire inférieur par le tissu inflammatoire à l'apex de l'implant(79)

5.2.2 Complications tardives

5.2.2.1 Complications infectieuses avec altération de la stabilité de l'implant

La péri-implantite est un processus inflammatoire d'origine infectieuse des tissus autour d'un implant ostéo-intégré et en fonction. La péri-implantite fait suite à la mucosite qui est une simple inflammation gingivale(88).

La radiographie de référence pour l'étude des péri-implantite sera la rétro-alvéolaire. L'utilisation d'angulateur associée à la technique des bissectrices permettra la comparaison des radiographies dans le temps.

Sur la radiographie rétro-alvéolaire il sera possible de mesurer la perte osseuse ainsi que de compter le nombre de spires exposés.

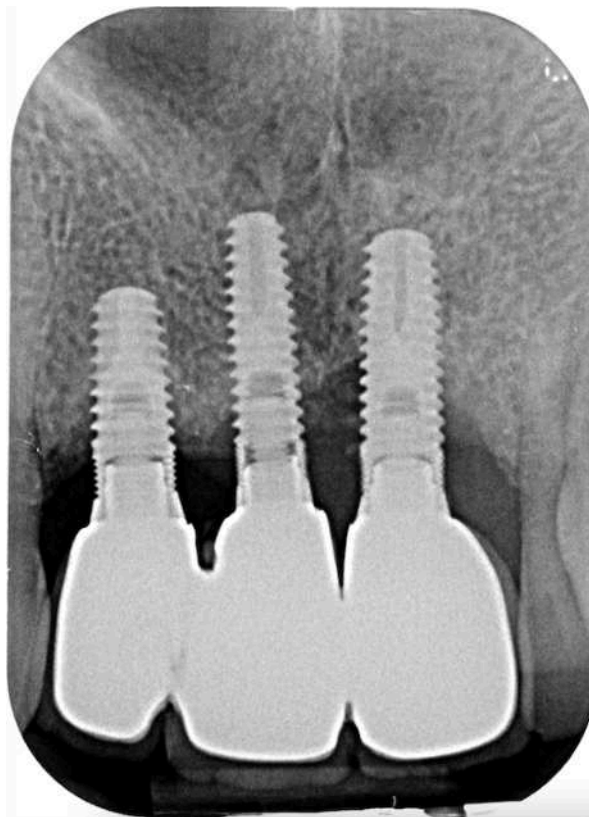


Figure 38 : Rétro-alvéolaire d'un patient du centre de soins dentaire de Nantes

Sur cette radiographie (figure 35), on peut facilement mesurer la perte osseuse en mésiale de l'implant en 21 à l'aide du logiciel d'acquisition, et on peut compter également le nombre de spires exposés : ici 5,5 en mésiale de l'implant 21.

L'intérêt de la radiologie lors du diagnostic des péri-implantites est de pouvoir suivre l'évolution dans le temps et de comparer avec les signes cliniques (saignement/suppuration au sondage, mobilité de l'implant, profondeur de poche supérieure ou égale à 6mm...)(88).

5.2.2.2 Gestion de la fracture de l'implant

Il existe deux causes principales à l'origine d'une fracture implantaire :

- L'augmentation de la puissance manducatrice du patient, signant paradoxalement la réussite du traitement
- L'absence de proprioception sur un implant ne permettant pas de moduler la contraction des muscles de la mastication.

A ces raisons principales s'ajoutent des raisons plus particulières comme un diamètre d'implant inadapté, un défaut de conception et/ou de réalisation de la prothèse, un descellement partiel de la prothèse ou un défaut du système implantaire(89).

La radiographie rétro-alvéolaire permet de mettre en évidence la fracture d'un implant.

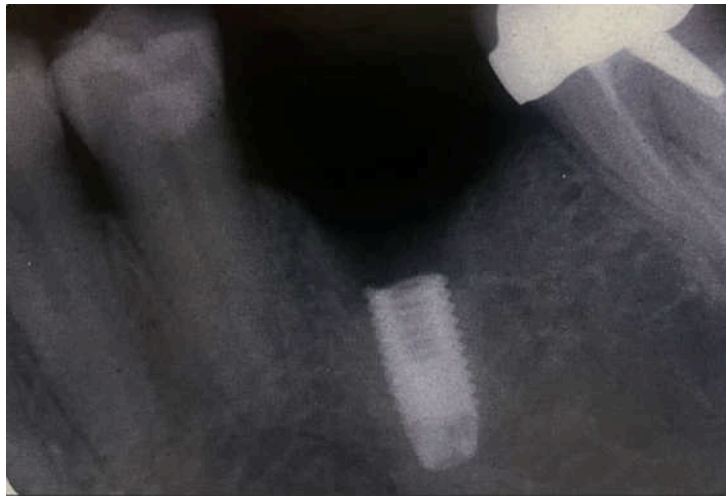


Figure 39 : Rétro-alvéolaire montrant la fracture d'un implant en position 36(79)

6 Conclusion

La radiographie est un outil primordial dans l'élaboration d'un plan de traitement implantaire, elle intervient dans les différentes étapes du traitement.

Le chirurgien-dentiste doit connaître les différentes techniques radiographiques 2D et 3D à sa disposition afin de les utiliser conformément aux différentes indications et aux données actuelles de la science.

Les radiographies en 2D sont aujourd'hui complétées par des examens radiologiques tridimensionnels permettant une meilleure visualisation anatomique. Le *cone beam* est aujourd'hui l'examen 3D de référence en odontologie de par ses performances techniques et dosimétriques.

L'essor du numérique, a permis le développement de logiciels de planification implantaire, qui, couplés à l'imagerie tridimensionnelle, permettent la réalisation avec une grande précision de l'acte chirurgical.

Ces logiciels sont de plus en plus performants et facilitent également la communication de l'opérateur avec le patient et le technicien de laboratoire, afin de déterminer les objectifs et contraintes fonctionnels et esthétiques.

Bibliographie

1. Verhoeven JW, Cune MS. [Radiographic planning and the evaluation of implant treatment]. *Ned Tijdschr Tandheelkd.* 2003;110(3):113-9.
2. Garg AK. *Practical implant dentistry.* Amsterdam, Pays-Bas : Elsevier Health Sciences, 1993, 352 p.
3. Positionneurs de radiographie XCP Introral : Assemblage et utilisations [Internet]. Dentaltix - Boutique Dentaire Online. [cité 23 nov 2022]. Disponible sur: <https://www.dentaltix.com/fr/blog/positionneurs-de-radiographie-xcp-introral-assemblage-et-utilisations>
4. Gil T. *Imagerie maxillo-faciale pratique.* Paris : Quintessence International. 2001, 243 p.
5. Zitzmann N, Margolin M, Filippi A, Weiger R, Krastl G. Patient assessment and diagnosis in implant treatment. *Australian Dental Journal.* 2008;53(s1):S3-10.
6. Güler AU, Sumer M, Sumer P, Biçer I. The evaluation of vertical heights of maxillary and mandibular bones and the location of anatomic landmarks in panoramic radiographs of edentulous patients for implant dentistry. *J Oral Rehabil.* 2005;32(10):741-6.
7. Alfred S, Bonnaud P. *Le bilan préopératoire à visée implantaire.* Paris : Masson 2009, 324 p.
8. AD Solution - Création et équipement de cabinet dentaire [Internet]. AD Solution. [cité 26 nov 2022]. Disponible sur: <https://www.adsolution.fr/>
9. Hedeşiu M, Balog C, Preda DM, Băciuţ G, Băciuţ M, Fildan F, et al. The accuracy of alveolar crest dimensions measurement for dental implants. In vitro study. *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi.* 2008;112(1):224-8.
10. Schwartz-Arad D, Yaniv Y, Levin L, Kaffe I. A radiographic evaluation of cervical bone loss associated with immediate and delayed implants placed for fixed restorations in edentulous jaws. *J Periodontol.* 2004;75(5):652-7.
11. Lacan A. *Nouvelle imagerie dentaire - Scanner, dentaScan, IRM.* Paris : Cahiers de prothèses éditions. 1998.
12. Marini M, Stasolla A. Computed Tomography of dental arches with dedicated software: current state of applications. *Radiol Med.* 2002;104(3):165-84.
13. Abrahams JJ. Anatomy of the jaw revisited with a dental CT software program. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1993;14(4):979-90.
14. Verhoeven JW, Cune MS, Meijer GJ. [(Pain) complaints that are "not understood" after implant surgery. Diagnosis with CT/DentaScan]. *Ned Tijdschr Tandheelkd.* 2005;112(3):99-102
15. Hao Y, Zhao W, Wang Y, Yu J, Zou D. Assessments of jaw bone density at implant sites using 3D cone-beam computed tomography. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2014;18(9):1398-403.
16. Rodriguez A, Anastassov GE, Lee H, Buchbinder D, Wettan H. Maxillary sinus augmentation with deproteinated bovine bone and platelet rich plasma with simultaneous insertion of endosseous implants. *J Oral Maxillofac Surg.* 2003;61(2):157-63.
17. Norton MR, Gamble C. Bone classification: an objective scale of bone density using the computerized tomography scan. *Clin Oral Implants Res.* 2001;12(1):79-84.
18. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol.* 1998;8(9):1558-64.
19. Bellaïche N. *Guide pratique du Cone Beam en pratique dento-maxillaire.* Paris : CdP, 2016, 384 p.
20. Themes UFO. *Computed Tomography* [Internet]. Radiology Key. 2017 [cité 26 nov 2022]. Disponible sur: <https://radiologykey.com/computed-tomography-12/>
21. Cavezian R, Pasquet G. *Imagerie Cone Beam et implants.* 2012;113(4):245-58.

22. Davarpanah M. *Implantologie assistée par ordinateur*. Paris : CdP, 2011, 241 p.
23. Ludlow JB, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008;106(1):106-14.
24. Schittly J, Schittly E. *Prothèse amovible partielle Clinique et Laboratoire*. Paris : CdP. 2020, 348 p.
25. Becker W, Becker BE. Replacement of maxillary and mandibular molars with single endosseous implant restorations: a retrospective study. *J Prosthet Dent*. 1995;74(1):51-5.
26. Adell R, Lekholm U, Rockler B, Brånemark PI. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. *Int J Oral Surg*. 1981;10(6):387-416.
27. Jemt T, Lekholm U. Oral implant treatment in posterior partially edentulous jaws: a 5-year follow-up report. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1993;8(6):635-40.
28. Société de Pathologie Infectieuse de Langue Française. Cinquième Conférence de consensus en thérapeutique anti-infectieuse prophylaxie de l'endocardite infectieuse. 1992 - [Internet]. [cité 28 nov 2022]. Disponible sur: https://urgences-serveur.fr/IMG/pdf/PROPHYLAXIE_DE_L_ENDOCARDITE_INFECTIEUSE.pdf
29. Roberts WE, Simmons KE, Garetto LP, DeCastro RA. Bone physiology and metabolism in dental implantology: risk factors for osteoporosis and other metabolic bone diseases. *Implant dentistry*. Spring 1992;1(1):11-21.
30. De Bruyn H, Collaert B. The effect of smoking on early implant failure. *Clin Oral Implants Res*. 1994;5(4):260-4.
31. Bain CA, Moy PK. The association between the failure of dental implants and cigarette smoking. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1993;8(6):609-15.
32. Malmstrom HS, Fritz ME, Timmis DP, Van Dyke TE. Osseo-integrated implant treatment of a patient with rapidly progressive periodontitis. A case report. *J Periodontol*. 1990;61(5):300-4.
33. Bolin A, Eliasson S, von Beetzen M, Jansson L. Radiographic evaluation of mandibular posterior implant sites: correlation between panoramic and tomographic determinations. *Clin Oral Implants Res*. 1996;7(4):354-9.
34. Dharmar S. Locating the mandibular canal in panoramic radiographs. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1997;12(1):113-7.
35. Lindh C, Petersson A. Radiologic examination for location of the mandibular canal: a comparison between panoramic radiography and conventional tomography. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1989;4(3):249-53.
36. Rugani P, Kirnbauer B, Arnetzl GV, Jakse N. Cone beam computerized tomography: basics for digital planning in oral surgery and implantology. *Int J Comput Dent*. 2009;12(2):131-45.
37. Bartolucci EG, Mangano C. *Réussir les implants dentaires*. Paris : Masson, 2004, 224.
38. Al-Attas MA, Koppolu P, Alanazi SA, Alduaji KT, Parameaswari PJ, Swapna LA, et al. Radiographic evaluation of bone density in dentulous and edentulous patients in Riyadh, KSA. *Niger J Clin Pract*. 2020;23(2):258-65.
39. Davarpanah M et al. *Manuel d'implantologie clinique*. Paris : CdP, 2018, 338 p.
40. Misch CE. *Dental Implant Prosthetics*. Amsterdam : Mosby-Elsevier, 2014, 1008 p.
41. Jivraj S, Chee W, Corrado P. Treatment planning of the edentulous maxilla. *Br Dent J*. 2006;201(5):261-79.
42. Chugh T, Jain AK, Jaiswal RK, Mehrotra P, Mehrotra R. Bone density and its importance in orthodontics. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2013;3(2):92-7.
43. Neugebauer J, Zöllner J. *Cone Beam Imagerie dentaire et maxillo faciale*. Paris : Quintessence International, 2013, 276 p.
44. Amorfini L, Storelli S, Romeo E. Rehabilitation of a dentate mandible requiring a full arch rehabilitation. Immediate loading of a fixed complete denture on 8 implants placed with a bone-supported surgical computer-planned guide: a case report. *J Oral Implantol*. 2011;37:106-13.

45. Touati B. Considérations bioesthétiques sur l'implant dentaire et sur son positionnement. *Titane* 2009; Hors-série:4-8.
46. Tarnow DP, Cho SC, Wallace SS. The effect of inter-implant distance on the height of inter-implant bone crest. *J Periodontol.* 2000;71(4):546-9.
47. Themes UFO. 23 Treatment planning: implant selection [Internet]. Pocket Dentistry. 2015 [cité 29 nov 2022]. Disponible sur: <https://pocketdentistry.com/23-treatment-planning-implant-selection/>
48. Song WC, Jo DI, Lee JY, Kim JN, Hur MS, Hu KS, et al. Microanatomy of the incisive canal using three-dimensional reconstruction of microCT images: an ex vivo study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108(4):583-90.
49. Mraiwa N, Jacobs R, Van Cleynenbreugel J, Sanderink G, Schutyser F, Suetens P, et al. The nasopalatine canal revisited using 2D and 3D CT imaging. *Dentomaxillofac Radiol.* 2004;33(6):396-402.
50. von Arx T, Bornstein MM. Canal nasopalatin perméable Une anomalie développementale rare et un piège diagnostique. *Rev Mens Suisse Odontostomatol.* 2009; 119(4):385-9.
51. Jensen OT, Perkins S, Van de Water FW. Nasal fossa and maxillary sinus grafting of implants from a palatal approach: report of a case. *J Oral Maxillofac Surg.* 1992;50(4):415-8.
52. Emmerich D, Att W, Stappert C. Sinus floor elevation using osteotomes: a systematic review and meta-analysis. *J Periodontol.* 2005;76(8):1237-51.
53. Maestre-Ferrín L, Carrillo-García C, Galán-Gil S, Peñarrocha-Diago M, Peñarrocha-Diago M. Prevalence, location, and size of maxillary sinus septa: panoramic radiograph versus computed tomography scan. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011;69(2):507-11.
54. van Zyl AW, van Heerden WFP. A retrospective analysis of maxillary sinus septa on reformatted computerised tomography scans. *Clin Oral Implants Res.* 2009;20(12):1398-401.
55. Antoun H. Les greffes de sinus en implantologie. Paris : CdP, 2020, 268 p.
56. Bagheri SC, Meyer RA. Management of mandibular nerve injuries from dental implants. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2011;19(1):47-61.
57. Kim G, Lee J, Lee H, Seo J, Koo YM, Shin YG, et al. Automatic extraction of inferior alveolar nerve canal using feature-enhancing panoramic volume rendering. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2011;58(2):253-64.
58. Wyatt WM. Accessory mandibular canal: literature review and presentation of an additional variant. *Quintessence Int.* 1996;27(2):111-3.
59. Wadhvani P, Mathur RM, Kohli M, Sahu R. Mandibular canal variant: a case report. *J Oral Pathol Med.* 2008;37(2):122-4.
60. CHEVEAU D. Radiographie rétro-alvéolaire d'un patient du centre de soins dentaire du CHU de NANTES. 2019.
61. AMOURIQ Y. Radiographie panoramique d'un patient du centre de soins dentaire du CHU de NANTES. 2019.
62. Santos Marques TM, Gomes. Décompression du nerf alvéolaire inférieur : Une étude de cas. *J Can Dent Assoc* 2011;77:b34.
63. Bourjat P, Cavezian R, Pasquet G. [Stafne's lacuna, a salivary inclusion in the mandible. Apropos of a case]. *J Radiol.* 1985;66(1):71-3.
64. Campos PSF, Panella J, Crusoé-Rebello IM, Azevedo RA, Pena N, Cunha T. Mandibular ramus-related Stafne's bone cavity. *Dentomaxillofac Radiol.* 2004;33(1):63-6.
65. Quesada-Gómez C, Valmaseda-Castellón E, Berini-Aytés L, Gay-Escoda C. Stafne bone cavity: a retrospective study of 11 cases. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2006;11(3):E277-280.
66. Thèmes UFO. Apport du cone beam dans les images radioclares et les images denses des maxillaires | *Medicine Key* [Internet]. [cité 29 nov 2022]. Disponible sur: <https://clemedicine.com/apport-du-cone-beam-dans-les-images-radioclares-et-les-images-denses-des-maxillaires/>
67. Pesun IJ, Gardner FM. Fabrication of a guide for radiographic evaluation and surgical

- placement of implants. *J Prosthet Dent.* 1995;73(6):548-52.
68. Takeshita F, Tokoshima T, Suetsugu T. A stent for presurgical evaluation of implant placement. *J Prosthet Dent.* 1997;77(1):36-8.
 69. Siu ASC, Li TKL, Chu FCS, Comfort MB, Chow TW. The use of lipiodol in spiral tomography for dental implant imaging. *Implant Dent.* 2003;12(1):35-40.
 70. Rosner O, Gross M, Nissan J. Use of a provisional restoration as a radiographic guide prior to implant placement. *J Prosthet Dent.* 2006;96(4):303-4.
 71. Kopp KC, Koslow AH, Abdo OS. Predictable implant placement with a diagnostic/surgical template and advanced radiographic imaging. *J Prosthet Dent.* 2003;89(6):611-5.
 72. Cannas B, Tran ML, Boutin N. Transposition du projet prothétique vers l'imagerie en implantologie. *Implant 2014;* 4:327-333.
 73. Schwartz-Arad D, Chaushu G. Immediate implant placement: a procedure without incisions. *J Periodontol.* 1998;69(7):743-50.
 74. Rocci A, Martignoni M, Gottlow J. Immediate loading in the maxilla using flapless surgery, implants placed in predetermined positions, and prefabricated provisional restorations: a retrospective 3-year clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2003;5(S1):29-36.
 75. Vercruyssen M, Jacobs R, Van Assche N, van Steenberghe D. The use of CT scan based planning for oral rehabilitation by means of implants and its transfer to the surgical field: a critical review on accuracy. *J Oral Rehabil.* 2008;35(6):454-74.
 76. Matta RE, Bergauer B, Adler W, Wichmann M, Nickenig HJ. The impact of the fabrication method on the three-dimensional accuracy of an implant surgery template. *J Craniomaxillofac Surg.* 2017;45(6):804-8.
 77. Iida S, Tanaka N, Kogo M, Matsuya T. Migration of a dental implant into the maxillary sinus. A case report. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2000;29(5):358-9.
 78. Fauroux MA, Malthièry È, Torres JH. Projection d'implant dans le sinus maxillaire : gestion d'un cas et revue de la littérature. *Med Buccale Chir Buccale.* 2015;21(2):115-9.
 79. Bert M, Behar T. Gestion pratique des complications en implantologie. Paris : EDP Sciences, 2016, 328 p.
 80. Emery RW, Merritt SA, Lank K, Gibbs JD. Accuracy of Dynamic Navigation for Dental Implant Placement-Model-Based Evaluation. *J Oral Implantol.* 2016;42(5):399-405.
 81. Glauser R, Lundgren AK, Gottlow J, Sennerby L, Portmann M, Ruhstaller P, et al. Immediate occlusal loading of Brånemark TiUnite implants placed predominantly in soft bone: 1-year results of a prospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2003;5(S1):47-56.
 82. Lindhe J, Meyle J, Group D of European Workshop on Periodontology. Peri-implant diseases: Consensus Report of the Sixth European Workshop on Periodontology. *J Clin Periodontol.* 2008;35(8 Suppl):282-5.
 83. Lazzara RJ, Porter SS. Platform switching: a new concept in implant dentistry for controlling postrestorative crestal bone levels. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2006;26(1):9-17.
 84. Canullo L, Pace F, Coelho P, Sciubba E, Vozza I. The influence of platform switching on the biomechanical aspects of the implant-abutment system. A three dimensional finite element study. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2011;16(6):e852-6.
 85. Bellaïche N. Intérêt de l'imagerie dans la prévention et le diagnostic des complications implantaïres [Internet]. *Le fil dentaire 2017* [cité 6 déc 2022]. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/implantologie/interet-de-l-imagerie-dans-la-prevention-et-le-diagnostic-des-complications-implantaïres/>
 86. SpotImplant. Comment identifier un implant dentaire ? [Internet]. [cité 6 déc 2022]. Disponible sur: <http://www.spotimplant.com/fr/blog/comment-identifier-un-implant-dentaire/>
 87. Juodzbalys G, Wang HL, Sabalys G. Injury of the Inferior Alveolar Nerve during Implant Placement: a Literature Review. *J Oral Maxillofac Res.* 2011;2(1):e1.
 88. European Federation of Periodontology. État péri-implantaire sain, mucosite péri-implantaire et péri-implantite. Madrid : EFP, 2019, 12 p.

89. Bert M, Leclercq P. Dépose et remplacement d'un implant. Paris : Edp Sciences. 2013.

Table des illustrations

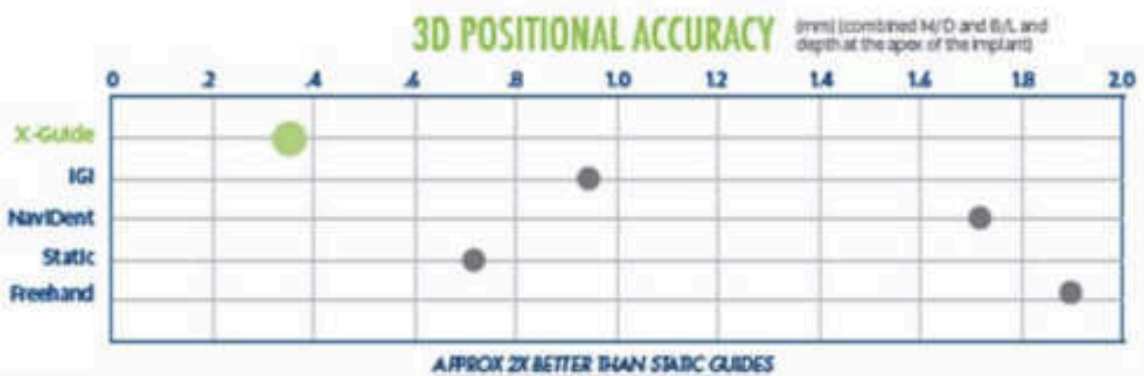
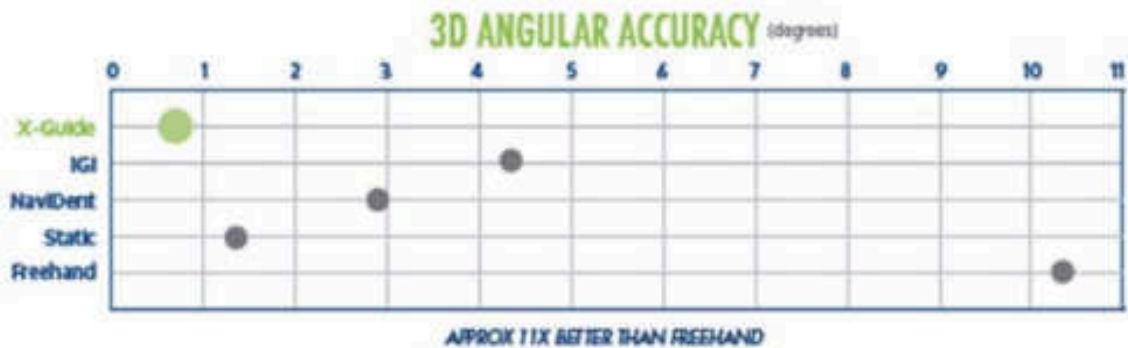
Figure 1 : Positionnement du TAF lors d'un cliché rétro-alvéolaire à l'aide d'un angulateur de Rinn(3).....	11
Figure 2 : Schéma représentant la technique des plans parallèles.....	12
Figure 3 : Schéma représentant la technique des plans bissecteurs(4).....	12
Figure 4 : Structures anatomiques reconnaissables sur une radiographie panoramique(7) ..	13
Figure 5 : Positionnement du patient lors de la réalisation d'un cliché panoramique(8).....	14
Figure 6 : Variations de la forme du faisceau en fonction des techniques d'imagerie : faisceau en éventail du scanner (A) et faisceau conique du CBCT (B)(19)	16
Figure 7: Comparaison des voxels obtenus avec un CBCT par rapport à un scanner(20).....	16
Figure 8: Principes d'acquisition du volume anatomique numérisé du Cone Beam (acquisition directe du volume et détermination secondaires des coupes) et scanner RX (acquisition première des coupes axiales pour construire le volume)(21).....	17
Figure 9 : Tableau récapitulatif des propriétés du scanner et du cone beam(22)	18
Figure 10 : Radiographie rétro-alvéolaire au maxillaire indiquant la hauteur d'os disponible(37)	23
Figure 11: Radiographie rétro-alvéolaire à la mandibule indiquant la hauteur d'os disponible(37)	23
Figure 12 : Schéma de la classification de Lekholm et Zarb(40)	24
Figure 13 : Photos radiographique de la classification de Lekholm et Zarb(41)	24
Figure 14 : Classification de Lekholm et Zarb de la résorption osseuse(40)	25
Figure 15 : Répartition osseuse selon Mirsch et Kircos(42)	25
Figure 16 : Positionnement des implants dans le sens mésio-distal(47)	26
Figure 17 : Visualisation du foramen incisif sur une coupe scanner axiale(50)	27
Figure 18 : Classification de Misch (1999)(55)	28
Figure 19 : Visualisation du canal alvéolaire inférieur sur un cliché rétro-alvéolaire(60).....	28
Figure 20 : Visualisation du canal alvéolaire inférieur sur une radiographie panoramique(61)	29
Figure 21 : Visualisation du canal alvéolaire inférieur sur une radiographie tomodynamométrique(62)	29
Figure 22 : Lacune de Stafne représentée sur une panoramique dentaire et sur un cliché tomodynamométrique(66)	30
Figure 23 : Les prothèses transitoires sont utilisées comme guides radiologiques. L'émergence des implants dans leur position idéale est repérée à l'aide de perforations de l'intrados pourvues de gutta-percha(7)	31
Figure 24 : Guides radiologiques avec repères tubulaires en titane(7)	31
Figure 25 : Guide radiologique avec une arcade dentaire réalisée en résine barytée(7)	32
Figure 26 : Avantages et inconvénients des différents guides radiologiques(7).....	32
Figure 27 : Radiographie panoramique confirmant la présence d'un implant intrasinusien(77)	36
Figure 28 : Radiographie permettant de suivre le trajet d'un implant dans le tube digestif(78)	36
Figure 29 : Cliché panoramique mettant en évidence l'effraction de la corticale inférieure de la mandibule de l'implant en 44(78)	37
Figure 30 : Coupe d'une mandibule avec un mauvais axe du forêt entraînant une effraction de la corticale linguale(78).....	37
Figure 31 : Radiographie pulmonaire mettant en évidence un tournevis dans le poumon droit du patient(78)	38
Figure 32 : Xguide (Nobelbiocare)	38

Figure 33 : Écran de l'ordinateur au cours d'une chirurgie implantaire à l'aide du X-GUIDE .	40
Figure 34 : Contrôle initial d'implants multiples maxillaires par panoramique dentaire(84) .	41
Figure 35 : Rétro-alvéolaire de contrôle implantaire à 2 mois(85)	42
Figure 36 : Radiographie panoramique sur un patient présentant des paresthésie à gauche et à droite (document d'expertise : Philippe Leclercq)(78).....	43
Figure 37 : Rétro-alvéolaire montrant la compression du nerf alvéolaire inférieur par le tissu inflammatoire à l'apex de l'implant(78).....	43
Figure 38 : Rétro-alvéolaire d'un patient du centre de soins dentaire de Nantes.....	44
Figure 39 : Rétro-alvéolaire montrant la fracture d'un implant en position 36(78)	45

Annexes :

ACCURACY USING THE X-GUIDE™ DYNAMIC 3D NAVIGATION SYSTEM FOR DENTAL IMPLANT PLACEMENT

MODEL-BASED EVALUATION Emery RW, Merritt SA, Lank K, Gibbs JD. J Oral Implantol 2016 Jun 6.



ACCURACY USING THE X-GUIDE™ DYNAMIC 3D NAVIGATION SYSTEM FOR DENTAL IMPLANT PLACEMENT

MODEL-BASED EVALUATION

Emery RW, Merritt SA, Lank X, Gibbs JD.
J Oral Implantol 2016 Jun 6.

SYSTEM	3D ANGULAR ACCURACY (Degrees)	2D LATERAL POSITIONAL ACCURACY (mm) (combined M/Distal R/L at the apex of the implant, excluding depth)	3D POSITIONAL ACCURACY (mm) (combined M/IS and R/L and depth at the apex of the implant)
X-Guide™	0.89 ± 0.35 (1.52)	0.22 ± 0.12 (0.47)	0.38 ± 0.21 (1.01)
IGI™	4.21 ± 4.76 (0.43)	0.60 ± 0.31 (1.22)	0.94 ± 0.40 (1.88)
Navident®	2.99 ± 1.60 (1.94)	1.18 ± 0.56 (3.19)	1.71 ± 0.61 (3.92)
Static™	1.44 ± 3.36	—	0.73 ± 2.02
Freehand™	10.4 ± 5.41 (25.3)	1.62 ± 0.60 (2.60)*	1.89 ± 0.80 (2.95)

Continued on next page

Annexe 1 Comparaison des précisions du système X-guide avec d'autres systèmes de navigation dynamique(80)

NANTES UNIVERSITÉ
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Vu le Président du Jury,

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Vu le Doyen,

Pr Assem SOUEIDAN

CHEVEAU (Damien) – Apport de l'imagerie lors de la réhabilitation implantaire – 55f. ; ill. ; tabl. ; cm (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2023)

RESUME

Notre travail se décompose en trois grandes parties.

Dans un premier temps, nous abordons l'apport de la radiologie en pré-chirurgical : les étapes de la planification implantaire seront détaillées.

Dans un second temps nous analysons la radiologie durant l'acte chirurgical, notamment via le X-Guide.

Pour finir nous donnons une liste non exhaustive de complications implantaires. Cette dernière partie a pour but d'identifier la technique d'imagerie à utiliser en fonction des différentes situations cliniques auxquelles nous serons confrontés.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Implantologie

MOTS CLES MESH

Radiologie – Imagerie dentaire - Implantologie orale – Planification implantaire – Chirurgie guidée – Chirurgie naviguée – X-guide – Complications implantaires

JURY

Président : Professeur Amouriq Y.

Directeur : Professeur Amouriq Y.

Co-directrice : Docteur Jordana F.

Assesseur : Docteur Maxime GUILLEMIN

Assesseur : Docteur Samuel SERISIER