

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



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

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD-LYON I
U.F.R. D'ODONTOLOGIE

Année 2015

THESE N° 2015 LYO 1D 70

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

Exemplaire provisoire

par

Daydé Alizée

Date et lieu de naissance

Née le 18 novembre 1990, à Vénissieux (69)

**Implantologie assistée par ordinateur et optimisation prothétique : approche
autour d'un cas clinique d'extraction implantation et mise en charge
immédiate d'un bridge en émergence naturelle**

JURY

Mr BOURGEOIS Denis

Assesseur

Mr FORTIN Thomas

Assesseur

Mme GRITSCH Kerstin

Assesseur

Mme BARBIER Anne

Assesseur

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

Président de l'Université
GILLY

M. le Professeur F-N.

Vice-Président du Conseil d'Administration
HADID

M. le Professeur H. BEN

Vice-Président du Conseil Scientifique et
GILLET
de la Commission de Recherche

M. le Professeur P-G.

Vice-Président du Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire
et de la Commission de la Formation et de la Vie Universitaire

M. le Professeur P. LALLE

SECTEUR SANTE

Faculté de Médecine Lyon Est

Directeur : M. le Professeur. J. ETIENNE

Faculté de Médecine et Maïeutique Lyon-Sud
BURILLON
Charles Mérieux

Directeur : Mme la Professeure C.

Faculté d'Odontologie
BOURGEOIS

Directeur : M. le Professeur D.

Institut des Sciences Pharmaceutiques et
Biologiques
VINCIGUERRA

Directrice : Mme la Professeure C.

Institut des Sciences et Techniques de la
Réadaptation

Directeur : M. le Professeur Y. MATILLON

Département de Formation et Centre de
A.M. SCHOTT
Recherche en Biologie Humaine

Directrice : Mme la Professeure

SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Faculté des Sciences et Technologies
Conférences

Directeur : M. F. DE MARCHI, Maître de

UFR des Sciences et Techniques des
Agrégé
Activités Physiques et Sportives

Directeur : M. Y. VANPOULLE, Professeur

Institut Universitaire de Technologie Lyon 1

Directeur : M. le Professeur C. VITON

Ecole Polytechnique Universitaire
de l'Université Lyon 1

Directeur : M. P. FOURNIER

Institut de Science Financière et d'Assurances
Conférences

Directeur : M. N. LEBOISNE, Maître de

Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education
(ESPE) MOUGNIOTTE

Directeur : M. le Professeur A.

Observatoire de Lyon

Directeur : M. B. GUIDERDONI, Directeur de
Recherche CNRS

Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique

Directeur : M. G. PIGNAULT

FACULTE D'ODONTOLOGIE DE LYON

Doyen	:	M. Denis BOURGEOIS, Professeur des Universités
Vice-Doyen	:	Mme Dominique SEUX, Professeure des Universités
Vice-Doyen	:	M. Stéphane VIENNOT, Maître de Conférences
Vice-Doyen	:	Mlle DARNE Juliette

SOUS-SECTION 56-01 :

PEDODONTIE

Professeur des Universités :
Maître de Conférences :

M. Jean-Jacques MORRIER
M. Jean-Pierre DUPREZ

SOUS-SECTION 56-02 :

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences :

Mme Sarah GEBEILE-CHAUTY, Mme Claire PERNIER,

SOUS-SECTION 56-03 :

PREVENTION - EPIDEMIOLOGIE ECONOMIE DE LA SANTE - ODONTOLOGIE LEGALE

Professeur des Universités
Professeur des Universités Associé :
Maître de Conférences

M. Denis BOURGEOIS
M. Juan Carlos LLODRA CALVO
M. Bruno COMTE

SOUS-SECTION 57-01 :

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences :

Mme Kerstin GRITSCH, M. Philippe RODIER,

SOUS-SECTION 57-02 : **THERAPEUTIQUE**

CHIRURGIE BUCCALE - PATHOLOGIE ET ANESTHESIOLOGIE ET REANIMATION

Maître de Conférences :
FORTIN,

Mme Anne-Gaëlle CHAUX-BODARD, M. Thomas
M. Jean-Pierre FUSARI, M. Arnaud LAFON

SOUS-SECTION 57-03 :

SCIENCES BIOLOGIQUES

Professeur des Universités :
Maîtres de Conférences :
PRINCE,

M. J. Christophe FARGES
Mme Béatrice RICHARD, Mme Béatrice THIVICHON-
M. François VIRARD

SOUS-SECTION 58-01 :

ODONTOLOGIE CONSERVATRICE - ENDODONTIE

Professeur des Universités :
Dominique SEUX
Maîtres de Conférences :

M. Pierre FARGE, M. Jean-Christophe MAURIN, Mme
Mme Marion LUCCHINI, M. Thierry SELLI, M. Cyril VILLAT

SOUS-SECTION 58-02 :

PROTHESE

Professeurs des Universités :
Maîtres de Conférences :
Gilbert VIGUIE,

M. Guillaume MALQUARTI, Mme Catherine MILLET
M. Christophe JEANNIN, M. Renaud NOHARET, M.
M. Stéphane VIENNOT

SOUS-SECTION 58-03 :

**SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES
OCCLUSODONTIQUES, BIOMATERIAUX,
BIOPHYSIQUE, RADIOLOGIE**

Professeur des Universités :
Maîtres de Conférences :
Maître de Conférences Associé :

Mme Brigitte GROSGOGEAT, M. Olivier ROBIN
M. Patrick EXBRAYAT, Mme Sophie VEYRE-GOULET
AYARI Hanène

SECTION 87 :
CLINIQUES

Maître de Conférences

SCIENCES BIOLOGIQUES FONDAMENTALES ET

Mme Florence CARROUEL

A notre Président de jury,

Monsieur le Professeur Denis BOURGEOIS

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

Praticien-Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Lyon I

Docteur en Droit (3ème cycle)

Maître en Biologie Humaine

Odontologiste des Hôpitaux

Habilité à Diriger des Recherches

Doyen de l'UFR d'Odontologie

Nous vous remercions pour l'honneur que vous nous faites en acceptant la présidence de ce jury de thèse.

Nous vous témoignons la plus grande reconnaissance pour votre enseignement dispensé tout au long de nos études.

Soyez assuré de notre reconnaissance et de notre profond respect.

Nous vous exprimons notre reconnaissance et notre respect dans l'accomplissement de vos fonctions.

A notre directeur de thèse,

Madame le Docteur Anne BARBIER

Assistant hospitalo-universitaire au CSERD de Lyon

Ancien Interne en Odontologie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Nous avons eu l'honneur et l'immense plaisir de réaliser cette thèse sous votre direction et nous vous en sommes profondément reconnaissants.

Nous vous remercions pour la qualité de votre enseignement ainsi que votre disponibilité sans faille. Pour votre gentillesse et nombreux conseils prodigués tout au long de notre cursus.

Nous vous sommes reconnaissant pour vos précieux conseils pour l'élaboration de notre travail. Merci d'avoir su vous rendre disponible lorsque nous vous avons sollicité.

Votre soutien, votre patience et votre aide précieuse m'ont permis de découvrir la qualité de votre personnalité.

A nos juges,

Madame le Docteur Kerstin GRITSCH

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

Praticien-Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Lyon I

Nous vous remercions d'avoir accepté de siéger dans notre jury de thèse.

Nous avons eu le plaisir de profiter de vos conseils et de votre douceur dans l'enseignement que vous nous avez prodigué.

Vous nous avez accompagné et soutenu avec gentillesse au cours de notre formation et êtes toujours restée à l'écoute de vos étudiants. Apprendre avec vous a été un plaisir.

Puisse se travail vous témoigner toutes l'estime que nous vous portons.

A nos juges,

Monsieur le Docteur Thomas FORTIN

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

Praticien-Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Grenoble

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

Habilitation à Diriger des Recherches

Nous vous remercions vivement d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous avons pu apprécier vos qualités de pédagogue, votre disponibilité et votre bonne humeur pendant tout notre cursus.

Merci pour votre aide dans l'élaboration de notre travail. Vous avez toujours été disponible et nous avons eu le plaisir de profiter de la qualité de l'enseignement que vous nous avez apporté.

Veillez trouver dans cette thèse, toute l'estime, l'admiration et le profond respect que nous vous portons.

Au Dr Roch DeValbray,

Je te remercie pour ton implication dans ce travail. Pour ton savoir et ton expérience que tu as m'as transmis avec patience et pédagogie. Ton soutien et ton aide précieuse m'ont permis de découvrir la qualité de ta personnalité. Notre entente et notre amitié, je l'espère, perdurera dans notre vie professionnelle et personnelle.

A mes parents,

Merci pour le soutien et la disponibilité sans faille dont vous avez fait preuve tout au long de mon cursus. Je vous remercie pour vos encouragements, votre aide et votre confiance. Vous avez su me donner toutes les chances pour réussir.

A mon petit frère,

Je te remercie de m'avoir fait partager ta joie de vivre et m'avoir ainsi soutenu dans mes efforts. Tu es mon complice depuis toujours.

A Alban,

Merci pour ton écoute et surtout ton amour qui m'a été essentiel durant ces années.

A Claire, mon acolyte durant toutes ces années d'études,

Un grand merci pour tous ces instants d'entraide, de partage et de complicité qui ont rythmés notre quotidien étudiantin. Tu es une amie et une consœur précieuse.

A Charlotte, Oriane et Barbara,

Notre amitié a grandi tout au long de nos années d'étude. Je vous remercie pour vos sourires et pour nos discussions.

Plan :

INTRODUCTION.....	1
<u>Première partie : Les Bases de l'IAO.....</u>	2
1 .1 Définition.....	2
1 .2 Acquisition des données anatomiques.....	2
1 .2 .1 L'imagerie en trois dimensions.....	2
1 .3 Utilisation des données anatomiques	4
1 .3 .1 Les fenêtres du programme®.....	4
1 .3 .2 Les fonctions du logiciel	6
1 .3 .2 .1 Modification du tracé de la courbe pseudo-panoramique.....	6
1 .3 .2 .2 Les différents masques.....	6
1 .3 .2 .3 Choix et positionnement des implants.....	6
1 .3 .2 .4 Mesures	7
1 .3 .2 .5 Wax up	7
1 .4 Réalisation prothétique, transmission des données et usinage : CFAO	7
1 .4 .1 Définition	7
1 .4 .2 Numérisation	8
1 .4 .3 CFAO et implantologie	9
1 .5 Préparation à la chirurgie	9
1 .5 .1 Projet prothétique	9
1 .5 .1 .1 La fixation de la prothèse sur l'implant	9
1 .5 .1 .2 Esthétique dentaire	10
1 .5 .1 .3 Le type de prothèse fixée implanto-portée	10
1 .5 .2 Réalisation du guide radiologique	10
1 .5 .3 Planification implantaire	11
1 .5 .4 Guide chirurgical	13
1 .5 .4 .1 Objectif	13
1 .5 .4 .2 Principe de fabrication	13
1 .5 .4 .3 Description	14
1 .5 .4 .4 Différents types de guide	15
1 .5 .4 .5 Autre exemple de guide radiologique et chirurgical : Keystone	16

<u>Deuxième partie : Rencontre avec le patient, étude pré-implantaire et élaboration du projet prothétique</u>	17
2 .1 Présentation du patient	17
2 .2 Anamnèse générale	18
2 .3 Examen exo buccal	18
2 .4 Examen endo-buccal	18
2 .5 Examen radiographique	19
2 .5 .1 Panoramique	19
2 .5 .2 Imagerie tridimensionnelle	20
2 .6 Projet prothétique, wax up	21
 <u>Troisième partie : Guide radiologique, imagerie 3D, planification</u>	 24
3 .1 Guide radiologique	25
3 .1 .1 Définition	25
3 .1 .2 Objectifs	25
3 .1 .3 Le guide numérique	26
3.2 Imagerie 3D	27
3.3 Planification implantaire	28
 <u>Quatrième partie : Guide chirurgical, mise en place des implants et pose de la prothèse</u>	 32
4 .1 Guide chirurgical stéréolithographique sur mesure	32
4 .2 Confection de la prothèse	33
4 .3 Pose des implants	33
4 .4 Pose de la prothèse	35
 <u>Cinquième partie : Discussion, indications</u>	 37
5 .1 Facteurs de réussite d'une extraction-implantation mise en charge immédiate	37
5 .1 .1 Critères de réussites	37
5 .1 .2 Optimisation de la stabilité primaire et de l'ostéointégration	37
5 .1 .3 Facteurs de réussite prothétiques	39
5 .2 Apport de l'IAO	39
5 .2 .1 Esthétique des tissus mous et de la prothèse	39
5 .2 .2 Précision et sécurité	40

5 .2 .3 Apports spécifique à la planification tridimensionnelle	40
5 .2 .4 Rapidité/temps au fauteuil minimisé	41
5 .2 .5 Confort du patient	41
5 .3 Limites de la méthode et perspectives d'évolution	42
5 .3 .1 Imprécision	42
5 .3 .2 Complications	43
5 .3 .3 Rapport du groupe ITI (International Team of Implantology)	44
CONCLUSION	45

INTRODUCTION

Cette thèse raconte l'histoire d'une rencontre. D'un côté, une préoccupation humaine lointaine : remplacer les dents absentes. L'Égypte Ancienne, le monde étrusque, les gallo-romains, et les Maures espagnols nous fournissent des témoignages de matériaux de substitution inclus dans des alvéoles déshabitées : ivoire, os ou dent, inclusions métalliques... De l'autre, une technologie en expansion, l'ingénierie assistée par ordinateur.

Appliquée à l'implantologie, l'ingénierie assistée par ordinateur permet dans un premier temps de positionner informatiquement les implants de manière idéale, par rapport à la prothèse pensée en amont, dans le volume osseux du patient reconstituée numériquement. Grâce au guide chirurgical produit par stéréolithographie, les implants sont ensuite insérés dans les maxillaires lors de la phase chirurgicale.

Nous verrons comment l'outil informatique nous aide à réaliser un plan de traitement en une phase chirurgicale pour une réhabilitation complète d'arcade. Dans un premier temps, nous décrirons l'implantologie assistée par ordinateur. Nous verrons ensuite, à travers le parcours d'un patient, les étapes nécessaires à la préparation d'une séance d'extraction-implantation et mise en charge immédiate d'un bridge transvissé sur implant au maxillaire. Nous discuterons enfin de l'apport et des limites de l'utilisation des logiciels et de l'informatique dans la conception et la réalisation d'une prothèse supra-implantaire.

Première partie : Les Bases de l'IAO

1.1 Définition

L'IAO (Implantologie Assistée par Ordinateur) est l'application à l'odontologie d'une technologie développée dès 1950 par l'armée américaine qui consiste à utiliser un logiciel pour concevoir, simuler et fabriquer. Dans un premier temps, elle fut conçue pour l'aéronautique, afin d'intégrer un grand nombre de contraintes mécaniques, de concevoir les pièces et d'en simuler le comportement avant de les fabriquer ; mais aussi de tester un grand nombre de possibilités de manière rapide et à moindre coût. La démocratisation de cette technologie et son expansion à de multiples domaines va de pair avec l'apparition de postes de travail informatique à moindre frais et de logiciels toujours plus puissants.

En ce qui concerne l'odontologie, l'utilisation de l'informatique n'aurait pu exister sans deux avancées incontournables : l'imagerie 3D et la CFAO/CAO.

1.2 Acquisition des données anatomiques (13) (21) (22) (23)

1.2.1 L'imagerie en trois dimensions (4)

En 1972, le Britannique Geoffrey Humbold Hounsfield présente une nouvelle technique d'imagerie sectionnelle, la tomодensitométrie (TDM) ou scanner Rx capable de discriminer 2.000 valeurs de densités, de -1000 pour l'air à + 1000 pour l'os en passant par zéro pour l'eau. L'outil informatique couplé au pinceau de rayons X calibré aux dimensions des coupes alors jointives crée une image numérique.

Actuellement se développe le Cone Beam, moins irradiant, et répondant mieux aux principes de radioprotection en vigueur. Ces deux principes qui s'imposent sont:

- la justification des examens pour lesquels le bénéfice escompté doit être supérieur au risque supposé.
- l'optimisation des examens où pour un même résultat la technique disponible la moins irradiante sera la technique de choix.

Quelle que soit la technique utilisée, son objectif est la production de coupes anatomiques axiales par rapport à un plan de référence ; et ce au format DICOM (Digital Imaging Communicating in Medicine).

Scanner :

Le rayon X se déplace selon un plan choisi, afin que les coupes soient le plus possible dans l'axe des futurs implants (plan palatin au maxillaire et intermédiaire entre le plan occlusal et le plan basilaire à la mandibule).

Il fait l'acquisition de plans de coupe d'une épaisseur elle aussi déterminée (en moyenne 0.6mm), reconstruite avec chevauchement tous les 0.4 mm en moyenne. Ces coupes sont ensuite traitées par des logiciels informatiques afin d'obtenir la reconstitution du volume.

Tomographie à faisceau conique (Cone Beam) :

Contrairement au scanner, le cone beam réalise l'acquisition de volumes en superposition desquels elle extrait secondairement des coupes axiales. L'orientation de ces coupes est variables à l'infini. De plus, les coupes obtenues peuvent être extrêmement fine : selon les marques, le modèle et le calibrage de la machine, le voxel oscille entre 75 μ et 600 μ , seule la performance des logiciels implantaires limite la précision de la reconstitution.

La précision volumique du scanner est légèrement variable puisque opérateur dépendant : le choix du plan de référence étant déterminant. Mais la discrimination des densités étant très élevée, le scanner permettra une meilleure appréciation de la qualité osseuse.

En ce qui concerne le Cone Beam, celui-ci présente deux avantages par rapport au scanner : il est moins irradiant (autour de 60 microsieverts) et les mesures de distance sont toujours très précises grâce à l'isotropie du voxel non opérateur dépendant. Cependant la résolution de densité est moindre et ne permet pas l'analyse des tissus mous. (5) (6)

	scan	cbct
irradiation	+	-
Artéfacts métallique	+	-
cinétique	-	+
Résolution densité	+	-
Précision spatiale	-	+
Appareil au cab	-	+

Le cone beam est mentionné dans toutes les indications principales de l'imagerie sectionnelle, en particulier en imagerie pré-implantaire. (7)

1.3 Utilisation des données anatomiques (3) (8) (9)

Des logiciels spécifiques transforment les images acquises au format DICOM pour faciliter la communication des informations. Il existe pour chaque marque de tomodensitométrie un logiciel spécifique permettant de réaliser la planification tridimensionnelle. Par exemple, les images du scanner Siemens CT sont exploitées avec le logiciel dentaire CT (Siemens, Erlangen, Allemagne), tandis que les données de tomographie acquises par General Electric de MSCT sont généralement reconstruites avec Dentascan Logiciel (GE, Medical Systems, Milwaukee, WI). Annexe 1

Plusieurs logiciels comme EasyGuide, NobelGuide et Simplant permettant de lire les images aux formats DICOM et d'y appliquer des modifications afin de planifier un traitement implantaire. Nous utiliserons pour ce cas clinique le logiciel Simplant. Simplant est un logiciel de lecture interactive des images 3D édité par la société Dentsply Implant® et distribué en France par OBL®.

1.3.1 Les fenêtres du programme

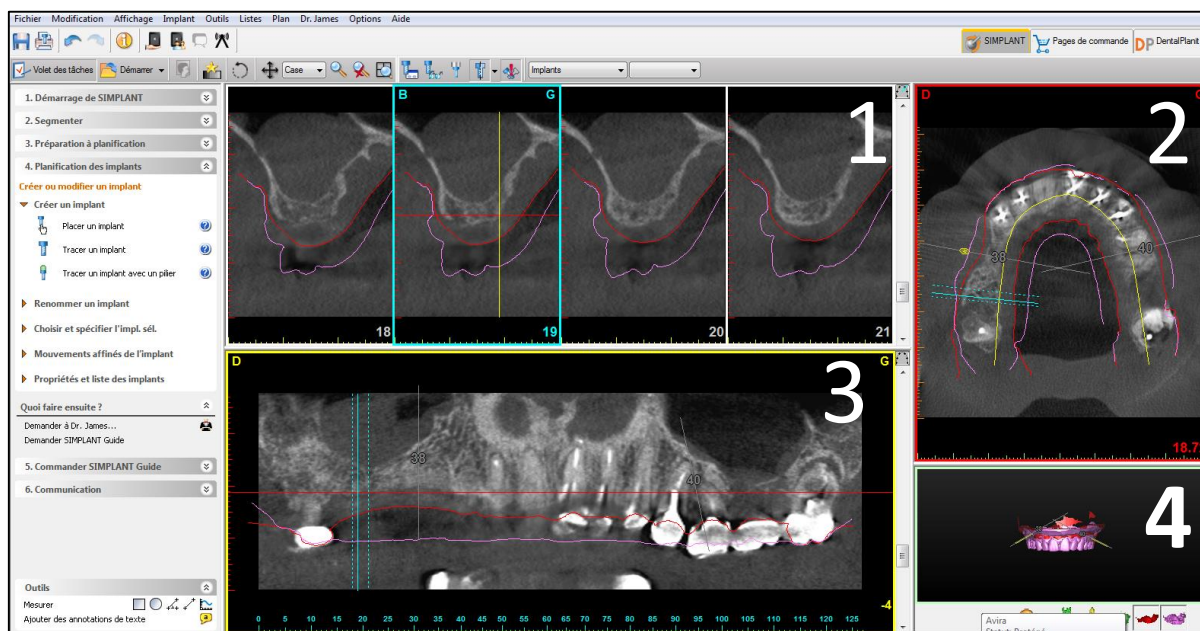


Figure 1 : Plateforme d'accueil du logiciel Simplant

Les quatre fenêtres du programme Simplant, comme pour d'autres logiciels de planification, sont modifiables à loisir tant sur les contours qu'au niveau de la résolution. Elles permettent de visualiser simultanément (figure 1) :

- **une coupe axiale** (en haut à gauche 2) : C'est à partir de cette coupe qu'est déterminée la coupe pseudo-panoramique. Le praticien définit cette dernière en marquant les points le long de la crête ou de l'arcade dentaire selon ses besoins.
- **une coupe pseudo panoramique ou coupe transversale** (en bas à gauche 3) : Il s'agit du plan défini par le tracé précédemment cité. Il suit l'arcade dentaire.
- **une coupe orthogonale à la courbe pseudo-panoramique** (en haut à gauche 1) : Ce plan présente des coupes séquentielles de l'arcade dans le sens vestibulo-lingual. Ces coupes se déplacent le long de l'axe défini par le tracé définissant la courbe pseudo-panoramique et sont perpendiculaires à celle-ci. Grace à ces coupes, le praticien évalue le volume osseux disponible, tant en hauteur qu'en largeur afin de positionner les implants.
- **Une reconstruction en 3D** (en bas à droite 4) : Il n'existe pas une mais plusieurs reconstructions 3D, définies sous le nom de masques. Ces différents masques peuvent apparaître ou non grâce à la barre d'outil (figure 3). La figure 2 montre à la fois l'os et les dents du patient, le projet prothétique, les implants et leur axe. Cette reconstitution peut être orientée dans toutes les directions et la position ainsi que l'inclinaison des implants modifiées. La transparence des différents masques peut aussi être ajustée et permet d'appréhender les trajets des structures anatomiques et implantaires.

Ces fenêtres sont interdépendantes. Sur chacune d'entre elles, se trouve un tracé permettant de localiser les niveaux des coupes les unes par rapport aux autres, à l'aide d'un code couleur. Ce repère s'adapte instantanément sur les différentes fenêtres lorsque le curseur se déplace sur l'une d'entre elles. Les coupes sont numérotées et graduées. Des repères marquant les côtés droit et gauche sont aussi présents.

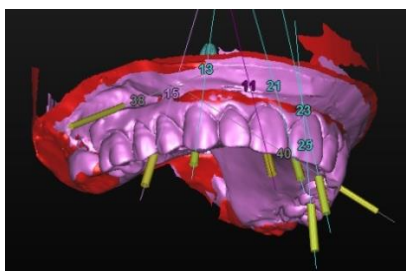


Figure 2 : Reconstitution 3D du volume osseux et du projet prothétique



Figure 3 : Barre de sélection des différents masques

1 .3 .2 Les fonctions du logiciel

1 .3 .2 .1 Modification du tracé de la courbe pseudo-panoramique

Ce tracé, établi le plus souvent par le radiologue, suit habituellement le trajet osseux de l'arcade mandibulaire. En l'adaptant au contour de l'arcade dentaire, les coupes orthogonales sont plus précises et permettent une meilleure évaluation des volumes osseux. En modifiant le tracé de cette courbe le long du trajet du nerf alvéolaire, par ajout de points successifs, à partir de l'épine de Spix jusqu'au foramen mentonnier, ce dernier apparaît alors clairement sur la courbe pseudo-panoramique ce qui permet de le matérialiser à l'aide d'un autre outil du logiciel.

1 .3 .2 .2 Les différents masques

Le logiciel Simplant propose non seulement la reconstitution 3D des volumes enregistrés lors de la prise du Cone Beam ou du scanner, mais aussi de nombreux autres masques. Ces masques sont de natures multiples et peuvent être ajoutés ou retirés à loisir sur la reconstitution en 3D. On y trouve les volumes osseux et dentaire « nettoyés », c'est-à-dire l'image 3D débarrassée de ses artefacts, ainsi que le guide radiologique. Le logiciel permet aussi de traiter les images acquises afin de séparer l'os des dents, pour obtenir deux masques distincts.

La sélection des différents masques se fait à l'aide de la barre d'outils en bas à droite (figure 3). Leur transparence peut être elle aussi ajustée. A chaque masque correspond une couleur. Les limites de chacun sont repérables sur les différentes coupes grâce à ce code couleur (figure 1).

1 .3 .2 .3 Choix et positionnement des implants

La bibliothèque implantaire :

Simplant possède une vaste bibliothèque de 8 000 implants de 90 marques différentes. Une fois la marque choisie, le programme sélectionne automatiquement l'implant correspondant aux dimensions disponibles.

Position des implants :

Chaque implant peut être positionné, incliné et modifié dans les 3 plans de l'espace. Les caractéristiques de l'implant apparaissent dans une fenêtre lors d'un clic sur l'implant. Sont

renseignés le nom, la marque et la référence de l'implant, sa longueur et largeur, son inclinaison et son tour. Les implants sont nommés par le numéro de la dent qu'il remplace sur l'arcade.

L'axe du pilier ou de l'implant est prolongé par un cylindre, dont la longueur par défaut est celle du transfert pick up de la marque de l'implant sélectionné. Ceci évite les problèmes de convergence lors des prises d'empreintes.

Le logiciel propose aussi un outil de détection des collisions. Lorsque la distance entre deux implants est inférieure à 3 mm, un signal sonore est émis.

Position et choix des piliers :

Le logiciel permet de simuler la mise en place de piliers, droits ou angulés. Ce choix se fait à la fois dans une bibliothèque préétablie, mais aussi sur mesure en variant les dimensions, angulations et formes. Cet outil permet d'anticiper la confection de la prothèse, ce qui en fait un atout dans la réalisation de mise en charge immédiate.

1 .3 .2 .4 Mesures :

Distance : Le logiciel propose de mesurer la distance entre deux points, permettant de contrôler le volume osseux disponible pour l'implant. Il permet aussi de mesurer des volumes, afin d'anticiper la quantité de matériaux nécessaire pour une greffe.

Densité : Le logiciel permet de calculer la densité de l'os sur 1mm autour d'un implant, ou sur une zone définie.

1 .3 .2 .5 Wax up

L'outil de dessin permet de simuler la reconstruction prothétique. Bien que peu précis, il donne des repères au placement d'implants dans le cadre de reconstitutions de faible étendue. C'est de plus un outil de communication avec le patient.

1 .4 Réalisation prothétique, transmission des données et usinage : CFAO

1 .4 .1 Définition

Les initiales CFAO signifient Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur.

La CFAO regroupe l'ensemble des techniques qui aident à la fabrication d'un produit en utilisant l'outil informatique, permettant ainsi l'automatisation et l'industrialisation des activités techniques. La CFAO débute par la conception informatique d'un objet. L'objet conçu est fabriqué par une imprimante en 3D. (10)

Apparue en 2000 dans les laboratoires de prothèse, elle est surtout employée à la validation des préparations et à la conception des armatures.

1 .4 .2 Numérisation

La numérisation 3D par balayage peut être définie comme un procédé permettant de cartographier la surface d'un objet pour créer un fichier informatique appelé "modèle numérique 3D" exploitable par un ordinateur. Les équipements de numérisation 3D utilisent les senseurs mécaniques, la technologie laser, la lumière structurée (qui utilisent la réflexion et la diffraction du faisceau lumineux) ou les procédés photogrammétriques (Ensemble des techniques qui permettent de déterminer la forme, les dimensions, la position dans l'espace d'un objet à partir de photographies. Larousse 2014).

Les tout premiers systèmes d'usinage de zircone capturaient la forme de la surface d'une maquette d'infrastructure en cire, réalisée sur une empreinte en plâtre par le prothésiste. L'usinage du matériau se fait alors par un partenaire distant qui matérialise l'information communiquée numériquement (système Piccolo de Nobel Biocare®).

La numérisation des maquettes construites par le prothésiste s'avère nécessaire pour pallier aux champs d'applications encore restreints des logiciels de CAO. La modélisation de composants de structures supra-implantaires n'étant pas encore possible avec les logiciels de CAO, leur fabrication nécessite la conception des maquettes physiques puis leur numérisation par le prothésiste s'il veut les fabriquer via un procédé numérique.

Aujourd'hui, bien que les caméras à empreintes optiques se développent, la numérisation des modèles en plâtre des empreintes reste la méthode la plus utilisée. L'ensemble des scanners 3D dédiés à la fabrication de prothèses possèdent un niveau de précision équivalent, de l'ordre de 20 μ m. L'évolution actuelle se tourne vers l'empreinte numérique, réduisant ainsi le risque d'imprécision. Le dentiste communiquera directement son modèle numérisé au prothésiste. La caméra intrabuccale Planmeca PlanScan® possède actuellement un degré de précision de 10 μ m.

1.4.3 CFAO et implantologie

Le prothésiste numérise la préparation en plâtre dans laquelle est incluse soit le pilier si celui-ci est standard, soit un analogue de pilier si il s'agit d'un pilier dit anatomique.

La réussite de la CFAO pour les prothèses implantaires repose sur la création d'éléments correspondant à la précision que ces dernières exigent. En moyenne, les maquettes manuelles sont d'une précision de 100 à 200 μm contre 20 à 50 μm avec la CFAO. (11)

Dans le cas que nous traitons ici, la CFAO sera utilisé dans la réalisation du guide chirurgical.

1.5 Préparation à la chirurgie

1.5.1 Projet prothétique

Lors d'un traitement implantaire, la prothèse est conceptualisée avant de proposer le devis au patient. Elle est conçue avant la planification implantaire afin d'être intégrée à l'imagerie 3D. (12)

1.5.1.1 La fixation de la prothèse sur l'implant (13) (14)

Le choix de la fixation de la prothèse sur l'implant se fait entre deux concepts, scellée ou transvissée, selon : la situation anatomique, l'esthétique, les attentes du patient, l'étendue de la restauration.

	Scellée	Transvissée
Avantages	Morphologie occlusale préservée Protocole identique aux dents naturelles Possibilité de redresser l'axe d'un implant Pas d'émergence de puits de vis visible	Démontage facilité (patient jeune, bruxomane, entretiens) Faible espace prothétique (~2mm de hauteur occlusale par rapport à la scellée, soit 5 mm) Approprié aux bridges
Inconvénients	Risque de péri-implantite due à un excès de ciment Démontabilité plus difficile Risque de descellement	Morphologie altérée Prolonge l'axe implantaire (contrainte) Moins étanche au niveau du puits de vis

1 .5 .1 .2 Esthétique dentaire

La définition du volume, de la forme, de la position des dents peut être réalisée de différentes manières.

Pour les édentements de faible étendue et où l'esthétique n'est pas un critère de choix, les dents sont préfigurées directement sur l'imagerie 3D via le logiciel de planification. Ceci dispense de la réalisation d'un guide radiologique et constitue un outil de communication ludique avec le patient. Une autre solution consiste à utiliser une prothèse existante, si celle-ci est cohérente esthétiquement, si elle est située dans le couloir prothétique et si le concept occlusal est en adéquation avec celui de la prothèse sur implant. Enfin, le projet prothétique peut être réalisé par le prothésiste et être essayé totalement, partiellement, ou pas du tout, si l'implantation est prévue immédiatement après l'extraction.

1 .5 .1 .3 Le type de prothèse fixée implanto-portée (15)

Conventionnelle : sans fausse gencive, pour les cas présentant un déficit tissulaire minime.

Sur pilotis : avec une fausse gencive importante masquant un déficit tissulaire conséquent. C'est bridge « classique » décrit par Brånemark et sur lequel le recul clinique est le plus important.

Hybride : compromis entre les deux prothèses précédentes, elle est adaptée au cas de déficit tissulaire moyen ou aux exigences esthétiques particulières.

1 .5 .2 Réalisation du guide radiologique (16) (8) (9)

Le guide radiologique est idéalement une prothèse adjointe de dents radioopaques, sans crochet métallique, sans fausse gencive et si possible sans recouvrement occlusal. En l'absence de dents barythées, de petites billes radioopaques incluses dans la prothèse au milieu des faces occlusales, ou des cylindres de gutta percha au centre des dents, servent de repères.

L'examen radiologique doit alors être réalisé avec le guide en bouche. Les données ainsi recueillies ne seront exploitables que si le guide est bien plaqué contre la muqueuse et dans une position stable et reproductible lors de l'acquisition.

Cependant, la réalisation d'un guide radiologique pose plusieurs limites. Elle nécessite au moins un rendez-vous supplémentaire avec le patient pour essayer le guide. Et elle ne peut être mise en œuvre dans le cas d'extraction/implantation immédiate.

Pour faire face à cette difficulté, une autre technique se développe. Le projet prothétique est numérisé et intégré à l'imagerie 3D.

Le guide d'imagerie numérique présente plusieurs avantages :

- Le coût réduit : pas de guide radiologique fabriqué par le laboratoire de prothèse.
- L'absence d'erreurs dues à un mauvais positionnement du guide lors de l'acquisition 3D (Cone Beam ou scanner).
- La possibilité de supprimer ou d'ajouter le guide numérique (dents et/ou tissus mous) sur le scanner lors de la planification.
- La possibilité de commander un guide chirurgical à partir de l'empreinte optique et de la planification pour faire une chirurgie guidée.

1 .5 .3 Planification implantaire (2)

L'imagerie 3D apporte au praticien des informations anatomiques :

- La qualité de l'os (densité, os cortical)
- Le volume osseux disponible (quantitatif)
- Les obstacles anatomiques (structures nobles, cavités, lésions)

Ces informations permettent de définir le site implantaire.

Qualité osseuse :

La densité osseuse est évaluée radiologiquement durant la phase pré-implantaire. Elle permet aussi d'apprécier la minéralisation d'une greffe préalable. Cette évaluation est approximative si elle n'est pas réalisée avec l'outil de mesure du logiciel de planification.

La classification de Lekholm et Zarb (1980) est la plus utilisée pour apprécier la densité osseuse radiologiquement. Elle définit 4 types d'os :

I : l'os est composé d'un tissu homogène compact

II : une couche épaisse d'os compact entoure un noyau d'os spongieux dense

III : une fine couche d'os corticale entoure l'os spongieux

IV : une couche très fine d'os corticale entoure un os spongieux de faible densité

D'autres classifications, comme celle de Mish (1990), se basent sur le ressenti du chirurgien lors du forage. Mais l'utilisation d'un guide chirurgicale en IAO limite considérablement les sensations.

Trisi et Rao (1999) se basent, eux, sur l'histomorphométrie. Mais cette technique, utilisant des prélèvements, n'est utilisée que pour les études cliniques.

Dans un os de faible densité, un implant plus conique sera préférentiellement utilisé et le site légèrement sous foré pour augmenter la stabilité primaire des implants. La qualité osseuse influe donc le choix des implants ainsi que l'acte chirurgical.

Obstacles anatomiques :

De manière générale les lésions inflammatoires, infectieuses, tumorales, les excédents de pâte, les dents incluses, les reliquats radiculaires seront relevés. Plus spécifiquement à la mandibule, le trou mentonnier ainsi que le canal du nerf alvéolaire inférieur et les nerfs incisifs seront recherchés. Au maxillaires, on notera la proximité des sinus, leur complexité anatomique ainsi que leur bonne santé, le canal naso-palatin et l'artère alvéolaire postéro-supérieure.

Choix des implants (17) :

- **impératifs chirurgicaux :**

- L'implant est entouré d'1,5 mm d'os au minimum.
- Deux implants sont séparés par 3 mm d'os.
- La distance radiologique implant-structure noble doit être de 2 mm au minimum.
- Si la hauteur osseuse disponible est faible, le nombre d'implants est multiplié.

- **impératifs prothétiques :**

- Le point d'émergence de l'implant est positionné en regard de la cuspide palatine d'une première molaire maxillaire ou du sillon d'une molaire mandibulaire sur la future couronne, pour que les forces occlusales réparties sur l'implant soient nulles. Ce point d'émergence est situé au niveau du cingulum des dents antérieures pour des raisons d'esthétique évidente. Le guide radiographique permet de visualiser les axes des dents sur les différentes coupes du scanner.
- L'axe de l'implant doit se rapprocher le plus possible de l'axe de la future dent. (Une légère correction sera possible grâce aux piliers angulés.)
- Le diamètre de l'implant s'assimile au diamètre de la dent qu'il remplace.

La réalisation prothétique respecte les règles d'occlusion de la prothèse fixée conventionnelle.

1 .5 .4 Guide chirurgical

Pour transférer les données de planification au moment de l'acte chirurgical, il existe deux techniques dont la précision est médicalement acceptable (3): la chirurgie naviguée (dynamique) ou la chirurgie guidée (statique).

Avec la chirurgie naviguée par ordinateur la position des instruments dans la zone chirurgicale est constamment affichée sur un écran avec l'image en trois dimensions du patient, comme le fait la géolocalisation d'un GPS. De cette manière, le système permet la visualisation en temps réel de la planification préopératoire et de l'action sur écran afin que le praticien puisse accorder les deux.

La chirurgie guidée utilise un outil de transfert, le guide chirurgical. C'est la méthode étudiée ici.

1 .5 .4 .1 Objectif

Le guide de forage, conçu et réalisé sur mesure, reproduit la planification implantaire. Son objectif est de transférer la position des implants du numérique vers la réalité physique au moment de l'acte chirurgical.

1 .5 .4 .2 Principe de fabrication

Les guides proposés par Simplant et NobelGuide sont stéréolithographiés. Ils sont imprimés en trois dimensions par un rayonnement agissant sur des monomères sous forme liquide au sein d'une cuve pour les solidifier en les polymérisant couche par couche (figure 4). Ce système applique à trois dimensions et donc trois axes x, y et z le même procédé qu'une imprimante laser utilise sur un plan à deux dimensions x et y. L'encre balaye horizontalement la feuille et crée une ligne sur l'axe x et, en se déplaçant le long de l'axe y, construit ligne par ligne une image en deux dimensions.

Une cuve de résine liquide photosensible joue le rôle de la feuille papier. Un ascenseur se déplace de haut en bas verticalement selon un axe z du haut en bas de la cuve. Une plateforme supportant un laser se déplace sur cet ascenseur. Un miroir situé au-dessus de la cuve se déplace perpendiculairement à l'axe z selon deux dimensions le long des axes x et y. (3) (17)

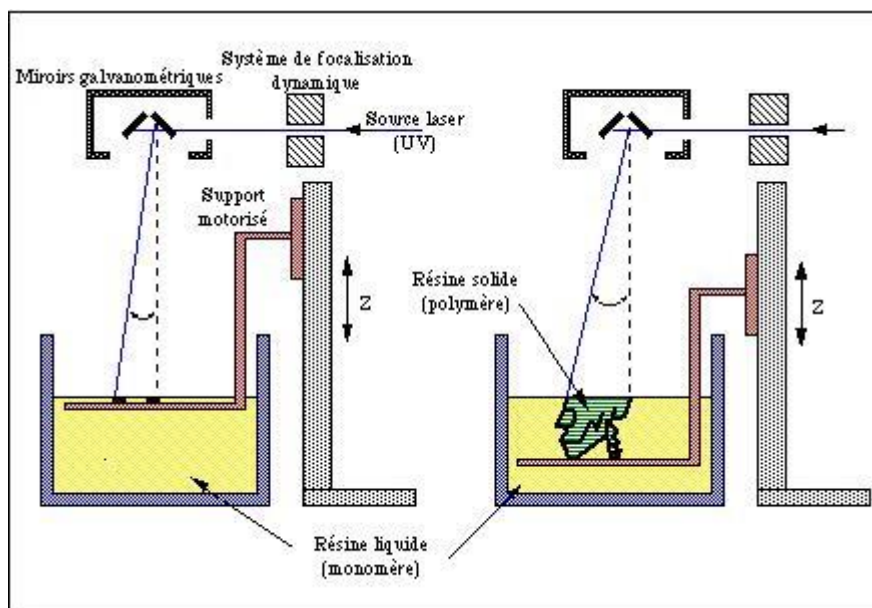


Figure 4: Principe de la stéréolithographie (17)

1.5.4.3 Description (8) (9)

Le guide est formé d'une plaque stabilisatrice. Des cylindres en acier de 5 mm de hauteur sont inclus pour guider les forets. Ils sont 2μ plus large que ces derniers. Les premières versions de guides stéréolithographiés se présentaient sous la forme de jeux de plusieurs guides, chacun incluant des cylindres correspondant à une étape de la séquence de forage.

Les différents fabricants d'implants ont leur propre système adapté aux propriétés spécifiques de chacun. Par exemple: AstraTM – Facilitate_{_} (M€olndal, Sweden); AnthogyrTM – ANTHOGR Guiding System_{_} (Sallanches, France); Biomet 3iTM – Navigator_{_} (Palm Beach Gardens, FL); CamlogTM – CAMLOG_{_} Guide System (Basel, Swiss); Dentsply FriadentTM – ExpertEase_{_} (M€olndal, Sweden); Nobel-BiocareTM – NobelGuide_{_} (Goteborg, Sweden); Straumann TM – Straumann Guided Surgery_{_} (Basel, Swiss); and Zimmer DentalTM – Zimmer Guided Surgery Instrumentation, Warsaw , IN. (3)

Aujourd'hui, le SAFE Système de Siplant propose un unique guide avec lequel les différents forets ainsi que l'implant sont guidés en profondeur et en largeur à l'aide de cuillères interchangeables (figure 5). SAFE est l'acronyme de Secure (sécurité du système de buté contrôlant la longueur de forage), Accurate (précis : L'analyse de Vercruyssen et al de 2015 calculait une déviation moyenne de 0.9mm au niveau crestal), Flexible (vis-à-vis des procédures, des implants), Ergonomic (un unique guide est nécessaire).

Selon les systèmes, les cuillères guides sont placées à l'entrée du cylindre guide ou directement sur le foret. Le guidage du forage en profondeur peut se faire par une butée physique ou un repère visuel.

L'intervention ne sera un succès que si le positionnement du guide est stable et unique. Afin de garantir la stabilité, il est recommandé d'utiliser des vis d'ostéosynthèse pour fixer le guide à la mâchoire.

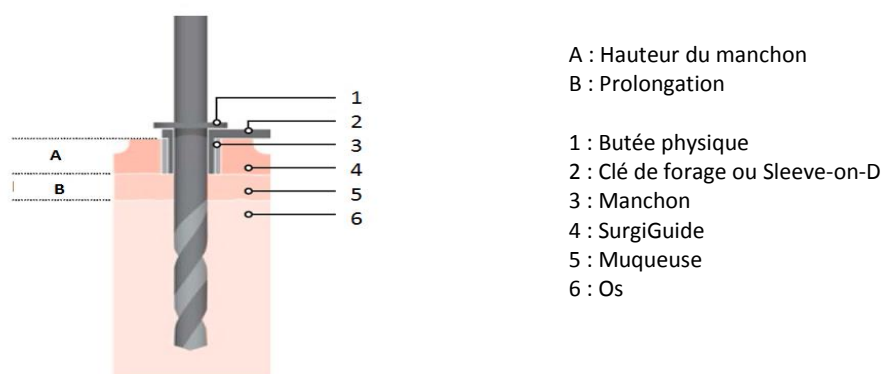


Figure 5 : Description du guide

1.5.4.4 Différents types de guide (19)

Ces guides existent sous 3 formes. On trouve les guides à appui osseux, les guides à appui muqueux, et les guides à appui dentaire.

- **Appui osseux** : Ce guide convient aux patients complètement ou partiellement édentés, avec un volume osseux suffisant pour garantir la stabilité et la position unique du guide. Il est de plus nécessaire que l'imagerie 3D ne comporte pas d'artéfacts. Le positionnement de ce guide nécessite de lever un lambeau large. Le remodelage osseux, s'il est envisagé, doit être réalisé après la pose des implants sous peine de ne pouvoir repositionner le guide.
- **Appui muqueux** : Ce type de guide convient aux patients totalement édentés. Il est indispensable que le guide radiologique soit parfaitement adapté à la muqueuse du patient et qu'il comporte une plaque base et des dents radioopaques. Les vis de transfixation viennent garantir la stabilité du guide. Ce guide, si la gencive attachée est suffisante pour permettre un environnement implantaire adéquat, permet la mise en

place d'implant sans lever de lambeau, par technique flapless. Ceci réduit les suites post opératoire et préserve la vascularisation osseuse.

- **Appui dentaire :** Ce guide convient au patient partiellement édenté, dont les dents persistantes ne sont pas mobiles. En cas d'artéfacts (restaurations métalliques), ce guide peut être réalisé à partir d'un modèle en plâtre. Ce modèle est scanné et l'image 3D est superposée à l'image du scanner.

1 .5 .4 .5 Autre exemple de guide radiologique et chirurgical : Keystone Dental (3)

Le guide chirurgical peut également être produit à partir du guide radiologique. C'est ce que propose la société Keystone Dental (Boston, MA) et son logiciel de planification EasyguideTM.

Le guide radiologique comprend des dents radio-opaques et un cube préfabriqué dit « X-cube » en résine acrylique, rattaché au guide radiologique mais situé à l'extérieur de la bouche. Il est utilisé pour transférer la position prévue des implants sur le guide radiologique pour en faire un guide chirurgical. Le « X-cube » permet de fixer la prothèse à une machine de forage. Les tubes de titane qu'il contient sont utilisés par le système pour établir un lien mathématique entre les images 3D et la machine de forage. Cette dernière peut alors préparer les espaces pour la mise en place des implants. La préparation s'achève par la séparation du cube.

Deuxième partie : Rencontre avec le patient, étude pré-implantaire et élaboration du projet prothétique

Le bilan pré-implantaire réunit les paramètres pré-opératoires et permet de construire le projet prothétique afin d'établir la faisabilité de la restauration par prothèse sur implant chez un patient. C'est l'étape fondamentale du plan de traitement : les phases chirurgicales et prothétiques en découlent. La future prothèse doit satisfaire aux contraintes esthétiques, fonctionnelles et biomécaniques. La construction du projet prothétique débute par l'étude de l'environnement buccal du patient, les empreintes d'étude et l'enregistrement de la relation inter-maxillaire. (20)

2.1 Présentation du patient

Le succès d'un traitement prothétique commence par l'identification de la demande du patient. Pour décrire et discuter du sujet de cette thèse, nous nous appuierons sur l'histoire de Mr J. âgé de 53 ans. Mr J. a une demande à la fois fonctionnelle et esthétique. Il souhaite retrouver un confort masticatoire altéré par des mobilités et des pertes dentaires consécutives aux atteintes du capital dentaire et à la baisse du niveau osseux.



Figure 6 : Photographie de face



Figure 7 : Photographie du sourire

2 .2 Anamnèse générale :

Certaines pathologies et habitudes contre-indiquent de manière relatives ou absolues le traitement implantaire. La motivation du patient et son rapport aux soins sont aussi à prendre en compte. Le morphotype, l'âge, le sexe donnent des indications sur la qualité osseuse et guident le projet prothétique.

Notre patient ne présente aucune pathologie générale, aucune allergie, aucun antécédent chirurgical. Il a arrêté le tabac un an auparavant.

2 .3 Examen exo buccal :

La musculature maxillo-faciale, la classe squelettique d'Angle, les articulations sont des éléments à prendre en compte. L'ouverture buccale est un facteur discriminant pour la chirurgie guidée.

Le soutien labial et jugal, la ligne du sourire, la symétrie faciale, la phonation sont des paramètres à évaluer dans le cas de reconstitution esthétique ou de grande étendue.

Notre patient présente une ouverture buccale de 3 doigts, et un visage symétrique (figure6). Les ATM ne présentent ni craquement ni déviation.

2 .4 Examen endo-buccal :

C'est l'environnement dans lequel va s'inscrire la reconstitution implantaire. La cause et l'ancienneté de l'édentement sont des indices précieux, ils influent sur l'importance de la résorption osseuse, sur la version et l'égression des dents voisines et antagonistes, donc sur la future prothèse.

L'analyse dentaire comprend l'intégrité des reconstitutions conservatrices et prothétiques, les rapports couronnes/racines, l'ancrage radiculaire, les courbes occlusales. La présence de facettes d'usures, la classe dentaire d'Angle et l'occlusion dynamique et statique seront aussi observés. L'étude occlusale se poursuivra sur articulateur avec des empreintes d'études et un wax up du projet prothétique.

L'examen parodontal est incontournable. L'épaisseur du parodonte et la quantité de gencive attachée seront précisées. Une étude sera menée autour des dents restantes, la présence de

poches parodontales, de saignement, de récessions signent une maladie parodontale qui devra impérativement être stabilisée avant d'entamer tout traitement implantaire.

Mr J. présente une classe I d'Angle, un milieu inter incisif légèrement décalé, un surplomb de 3 mm, les collets ne sont pas alignés. La courbe occlusale en secteur 2 est perturbée.

Nous observons chez notre patient une kératose en secteur 3, un parodonte épais et une gencive attachée présente en quantité. Nous notons aussi des saignements gingivaux au sondage (figures 8, 9 et 10).



Figure 8 : Vue en occlusion de face



Figure 9 : Vue en occlusion à droite



Figure 10 : Vue en occlusion à gauche

2 .5 Examen radiographique :

2 .5 .1 Panoramique :

L'orthopantomogramme est la radiographie de première intention. Elle donne une vue d'ensemble de la situation, elle permet d'apprécier le niveau osseux global, et complète l'examen dentaire. Bien qu'indispensable, cet examen est trop imprécis pour être suffisant. L'agrandissement, les superpositions et l'étirement rendent cet examen trop peu fiable pour mesurer et évaluer la densité et le volume osseux. (21) (22)

En cas de doute, des rétroalvéolaires précisent les images.

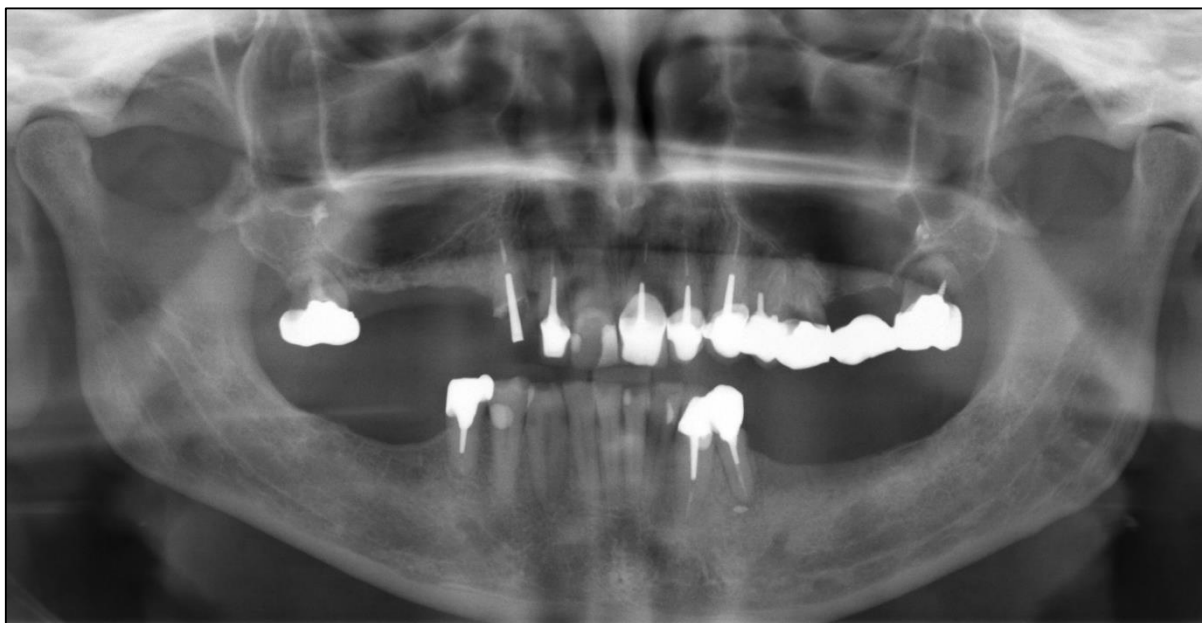


Figure 11 : Radiographie panoramique

Mr J. présente une réduction du volume osseux dans le sens sagittal au niveau des zones édentées. On notera de nombreuses images péri apicales sur 18, 12, 22, 24, 28, 34 et 45. Les racines sont courtes et les restaurations, nombreuses, présentes des signes de perte d'étanchéité. (figure 11)

2 .5 .2 Imagerie tridimensionnelle :

L'examen tomodensitométrique est classiquement réalisé après l'étude occlusale, la réalisation du wax up et du guide radiologique. Il fait aujourd'hui référence en implantologie. (7)

Cet examen consiste en un balayage électronique produisant une succession de coupes radiographiques horizontales (ou axiales). Les coupes axiales obtenues sont ensuite traitées par un logiciel de reconstruction tridimensionnelle pour obtenir une modélisation dans l'espace de la zone explorée. L'utilisateur accède à un nombre illimité de coupes, dans tous les plans possibles. Afin d'en avoir une utilisation optimale, les logiciels de lecture de scanner laisse à l'utilisateur le soin de paramétrer la courbe panoramique. Cette courbe, appelée courbe de Bézier, est tracé sur une des coupes axiales. Elle passe par le milieu de la crête osseuse. On obtient alors deux types de coupes lues à partir de cette courbe. Les coupes issues de parallèles sont des courbes

panoramiques successives de l'intérieur vers l'extérieur. Les coupes perpendiculaires à la courbe de Bézier sont dites « courbes coronales obliques » et correspondent à la section du maxillaire dans le sens vestibulo-lingual. Ces différentes coupes ont été précédemment évoquées dans la description du logiciel Siplant qui permet de naviguer dans le volume 3D. Les avantages de cet examen sont la reconstruction selon une infinité de plan, la visualisation d'obstacle grandement facilitée, la précision des clichés à l'échelle 1. (23) (24)

2.6 Projet prothétique, wax up (25)

Le projet prothétique est une étape charnière dans la réalisation d'une prothèse totale maxillaire fixe sur implant. La réalisation de la prothèse est complexifiée par les contraintes de l'extraction implantation immédiate.

Le wax up simule la reconstruction prothétique idéale. Il tient compte de toutes les contraintes fonctionnelles et esthétiques. Il détermine le schéma occlusal et le couloir prothétique idéal. Le couloir prothétique est défini entre les deux sangles musculaires constituées, d'une part des muscles péri buccaux et d'autre part de la langue.

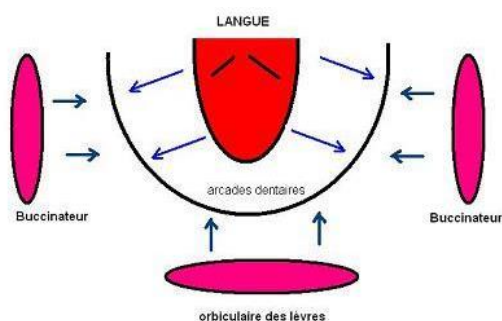


Figure 12 : Définition du couloir prothétique (26)

Le projet prothétique peut être imaginé par deux moyens distincts.

La conception prothétique numérique est une option des logiciels de planification en développement. Les dents sont placées et modelées par ordinateur. Cette approche est rapide et constitue un outil de communication avec le patient. Mais elle nécessite d'avoir fait le scanner en amont. De plus, le projet prothétique ne pourra être essayé physiquement par le patient, comportera des imprécisions évidentes, et la construction se fera en s'appuyant sur des repères

sur le scanner : les dents présentes. Pour toutes ces raisons, l'utilisation de cette fonctionnalité du logiciel se limite aux édentements de faible étendue et ne sera pas utilisée pour Mr J.

Le projet prothétique est issu de la collaboration entre prothésiste et chirurgien-dentiste.

Les modèles issus des empreintes d'étude des arcades sont montés en articulateur. A ce stade, une seconde étude occlusale permet de visualiser les rapports inter-arcade transversaux et sagittaux ainsi que les contraintes appliquées sur les dents existantes.

Les défauts occlusaux importants sont mis en évidence. Ils conduiront à une réévaluation du plan de traitement si besoin, en incluant des phases de prothèse conjointe et/ou d'orthodontie.

Mr J. présente un plan d'occlusion perturbé avec égression du secteur 2. (figure 10)

Le prothésiste monte les dents sur cire pour concrétiser le projet prothétique.

L'essayage en bouche permet de contrôler l'occlusion, la cohérence esthétique, le soutien labial, la phonation. Il informe aussi sur la possibilité d'une réhabilitation fixe et sur la nécessité ou non d'un apport osseux.

Cet essayage n'est cependant pas réalisable dans le cadre d'extraction/implantation/mise en charge immédiate. Le prothésiste doit donc obtenir un maximum d'informations pour réaliser une prothèse qui conviendra au mieux. Le Ditramax (Dispositif de TRAnsfert MAXillo-facial) permet de transférer les données esthétiques du patient au laboratoire. Il permet au praticien de relever sur son patient les trois principaux axes de référence esthétique (ligne bi-pupillaire, plan sagittal médian et plan de Camper), puis de les transférer sur le modèle de travail de manière précise et reproductible. Le prothésiste crée ensuite le wax-up en fonction du visage du patient.

De cette phase vont découler toutes les étapes suivantes. La réalisation du guide chirurgical, la simulation informatique du positionnement des implants et de ce fait leur position en bouche via le guide chirurgical.



Figure 13 : Dispositif Ditramax (27)

Pour Mr J. le traitement consistera en une première phase d'assainissement avec détartrage et surfaçage radiculaire à la mandibule, les retraitements de 34 et 45.

Les projets prothétiques maxillaire et mandibulaire sont représentés sur les figures 15 et 16.

A la mandibule, 4 implants remplaçant 5 dents sont prévus. Au maxillaire, l'ensemble des dents restantes seront extraites et remplacées par un bridge total sur 6 implants. Nous prévoyons d'extraire et d'implanter immédiatement, puis de mettre les implants en charge aussitôt. Cette approche associe le processus de cicatrisation post-extractionnelle et la phase d'ostéointégration des implants. Elle présente des avantages physiologiques mais aussi psychologiques. (27)



Figure 15 : Projet prothétique maxillaire



Figure 16 : Projet prothétique mandibulaire

Troisième partie : Guide radiologique, imagerie 3D, planification

La pose d'implants, à l'aide d'un guide chirurgical fixé par des vis, ne laisse pas de place à l'improvisation. Et la prothèse doit être réalisée en amont. Les implants posés devront s'adapter à cette prothèse. La planification a pour but de prendre contact avec l'anatomie du patient avant la chirurgie, de positionner les implants en respectant les impératifs chirurgicaux et prothétiques précédemment évoqués mais aussi de les placer pour qu'ils contribuent à l'esthétique et à la fonctionnalité de la prothèse. La planification permet de s'assurer de la faisabilité du plan de traitement choisi.

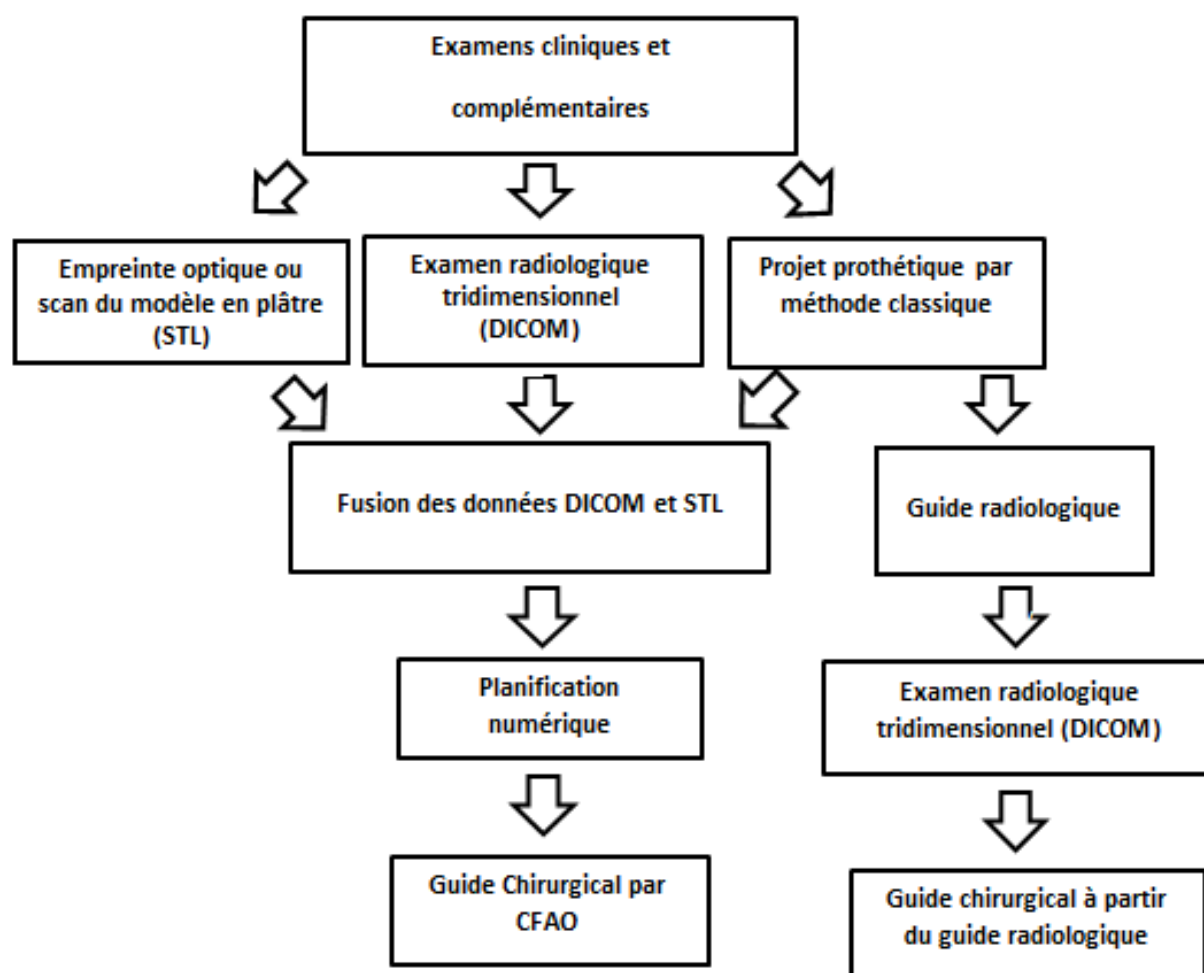


Figure 17 : Schéma récapitulatif des étapes d'un traitement implantaire « classique » et par IA

3 .1 Guide radiologique

3 .1 .1 Définition

Le guide scannographique est le maillon indispensable pour transférer le projet prothétique sur l'imagerie numérique 3D. Il est le reflet exact du projet prothétique.

Ce guide est utilisé lors de la prise du scanner afin de visualiser la future prothèse par rapport aux structures osseuses et dentaires.

3 .1 .2 Objectifs

Les objectifs du guide sont multiples (29) :

- Faire apparaître sur l'imagerie 3D les dents à remplacer. Déterminer leurs contours ainsi que leurs axes.
- Différencier le masque des dents du masque de la base.
- Déterminer le volume de muqueuse sous le guide.
- Evaluer la proximité entre les dents et les structures anatomiques.
- Evaluer le volume manquant dans les zones édentées.
- (Etre stable et bloquer les arcades lors de la prise du scanner.)

Il existe plusieurs types de guides radiologiques. Ils sont généralement faits de résine acrylique ou d'une plaque thermoformée avec des repères radioopaques de différentes formes, ou des dents barythées visibles sur l'imagerie 3D. Les guides radiologiques les plus simples sont des prothèses dans lesquelles des repères radioopaques (gutta-percha, billes métalliques, cylindre de titane) ont été insérés. On trouve aussi des guides barythés entièrement radioopaques : une plaque de résine thermoformée contenant des sels radioopaques et des dents barythées forment un guide modélisant la future prothèse.

La réussite du traitement est à ce stade dépendante de la stabilité du guide et de la position de celui-ci lors de la prise du scanner.

3 .1 .3 Le guide numérique

Le guide radiologique de notre patient Mr J. n'a pas été physiquement réalisé et l'essayage en bouche n'a pas eu lieu, le plan de traitement consistant en une extraction implantation immédiate. Le projet prothétique est réalisé sur une empreinte du patient sur laquelle les dents ont préalablement été retirées. Il est scanné et son image numérique est superposée à l'aide de marqueur sur l'imagerie 3D. Ceci se fait en 3 parties (figures) : d'une part, l'imagerie 3D du scanner des maxillaires du patient est générée au format DICOM [1] ; d'autre part, le scanner du laboratoire de prothèse fournit, au format STL ([2] et [3] sur la figure 18), l'empreinte numérique [2] du patient à partir d'un modèle en plâtre issu d'une empreinte classique à l'algate (figure 20) ainsi que l'empreinte numérique du projet prothétique à partir d'un wax up [3] (figure 21 et 22). Ces trois fichiers sont alignés les uns sur les autres en sélectionnant manuellement au minimum trois points de correspondances entre eux. Plus les points de correspondance seront nombreux, plus la superposition des fichiers sera précise. Une vérification est ensuite faite en comparant les profils dentaires sur les coupes transversales. Les profils discordants conduiront à la correction de l'alignement. Ce procédé a pour avantage de faire ressortir distinctement et sans artéfact l'os, la gencive et la position idéale des dents (figure 19, 20 et 23). Le guide chirurgical établi à partir de cette combinaison d'image sera alors plus précis qu'un guide obtenu uniquement à partir d'un scanner ou d'un cone beam réalisé avec un guide radiologique. (Figures 18 et 19) (30)



Figure 18 : Scanner du patient, de l'empreinte et du projet prothétique(30)

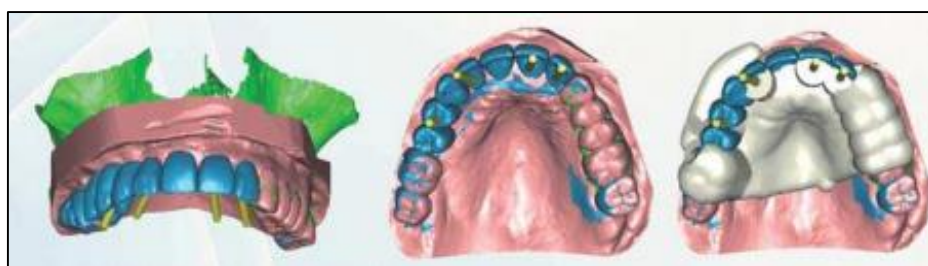


Figure 19 : Fusion des trois images tridimensionnelles avec et sans le guide chirurgical (30)



Figure 20 : Empreinte du patient



Figure 21 : Empreinte avec retrait des dents pour permettre le positionnement du wax-up



Figure 22 : Wax-up

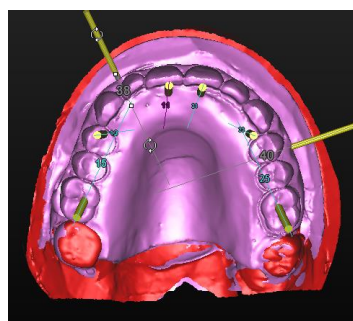


Figure 23 : Superposition des reconstitutions 3D de l'anatomie du patient et du wax-up

Pour Mr J, le scanner de la première empreinte (figure 20) a d'abord été réalisé, puis repositionné sur l'imagerie 3D. Les dents 17 et 27 ont été gardées (figure 21) pour être présentes sur le scanner du projet prothétique (figure 22) afin de servir de repère pour positionner et fusionner les différentes imageries tridimensionnelles les unes avec les autres. La figure 23 montre, sur la reconstitution 3D, l'anatomie du patient en rouge et le projet prothétique en rose, qui sont superposés.

3.2 Imagerie 3D

Le bilan radiologique tridimensionnel est une étape indispensable de l'étude préimplantaire.

Il permet l'appréciation des volumes osseux et des obstacles anatomiques.

Que l'imagerie soit faite par scanner ou par Cone Beam, les coupes axiales sont stockées au format DICOM et transmises au logiciel de planification. Le programme recalcule dans un espace

tridimensionnel en temps réel les coupes de reconstruction passant par l'axe de l'implant. La précision des systèmes de simulation est ainsi augmentée.

Lorsqu'un guide radiologique est confectionné en amont, le patient doit le porter pendant la réalisation de l'examen. Le guide doit être stable et intimement positionné contre les muqueuses. Si le guide n'est pas correctement positionné ou si le patient n'est pas parfaitement immobile, l'image obtenue sera erronée. Le guide radiologique numérique est une alternative pour gagner en précision et en fiabilité.

3.3 Planification implantaire (17) (31)

Le projet implantaire est établi pour répondre à la fois aux impératifs chirurgicaux et prothétiques. Le concept thérapeutique selon lequel la mise en place des implants doit être guidée par la prothèse est aujourd'hui dominant.

Il faut à ce stade déterminer le nombre, la dimension et la position des implants, en respectant des règles.

- Par rapport aux structures voisines : Ce sont les impératifs chirurgicaux évoqués précédemment.

Les implants doivent respecter une distance minimale par rapport aux structures avoisinantes afin de préserver la vascularisation. L'apex de l'implant doit se trouver éloigné radiologiquement de 2mm du canal du nerf alvéolaire car le forage et la mise en place de l'implant sont susceptibles de créer un hématome intra osseux qui, s'il comprime le nerf, est responsable de paresthésie ou de dysesthésie, le plus souvent temporaire. L'enfouissement des implants dépend quant à lui de l'architecture de l'implant utilisé.

- Par rapport aux dents à remplacer : Ce sont les impératifs prothétiques.

Il est toujours préférable, dans le cas d'édentement unitaire, d'éviter un port à faux prothétique. Le surplomb prothétique peut être réduit en utilisant des implants à base large pour les molaires. L'utilisation d'implants à base large présente une meilleure résistance mécanique.

Pour chaque site, les impératifs chirurgicaux et prothétiques doivent être respectés. Si l'une des règles n'est pas respectée, le projet devra être revu ou l'environnement anatomique modifié.

Pour notre patient Mr J, la planification prévoit de poser 6 implants en 11, 13, 16, 21, 23 et 26. Un comblement sous sinusien en secteur 1 sera nécessaire afin que la position de l'implant 16 puisse répondre aux impératifs prothétiques et chirurgicaux. Les figures 24 à 27 montrent la planification de Mr J. (32)

D'après Lambert et Mertens, A partir de six implants, le nombre d'implants n'est pas directement corrélé au succès thérapeutique mais plutôt à une meilleure gestion clinique en cas de complication. En dessous de 6 implants, le moindre échec compromet l'ensemble du traitement. Nous avons choisi de poser 6 implants. Pour notre patient présentant une arcade en U, les contraintes osseuses semblent être plus importantes avec 8 implants plutôt que 6. (33) (34) (35)

Les implants distaux sont angulés. Ceci permet de réduire à la fois le porte-à-faux prothétique et les contraintes osseuses. Bevilacqua montre que l'inclinaison des implants distaux joue un rôle prépondérant dans la réduction des contraintes mécaniques autour des implants mais aussi dans la protection de la prothèse face aux surcharges. (36)

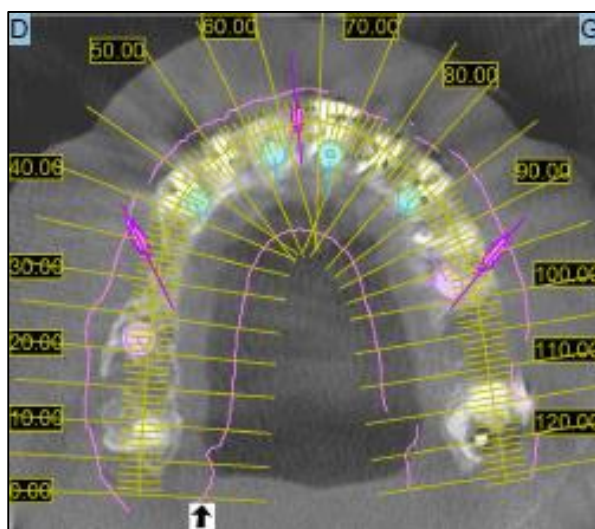


Figure 24 : Coupe axiale de la planification de Mr J

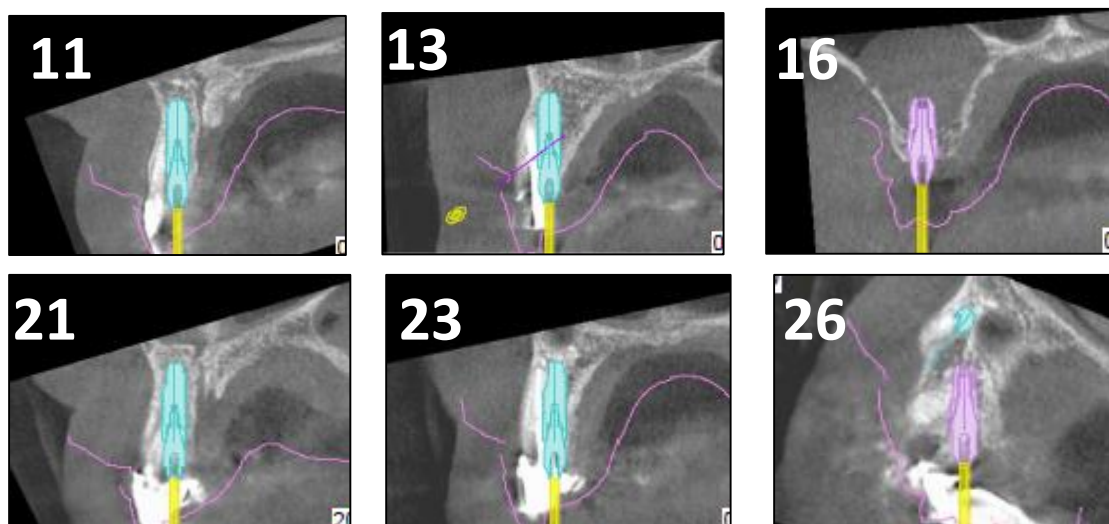


Figure 25 : Coupes transversales de chaque implant de la planification de Mr J

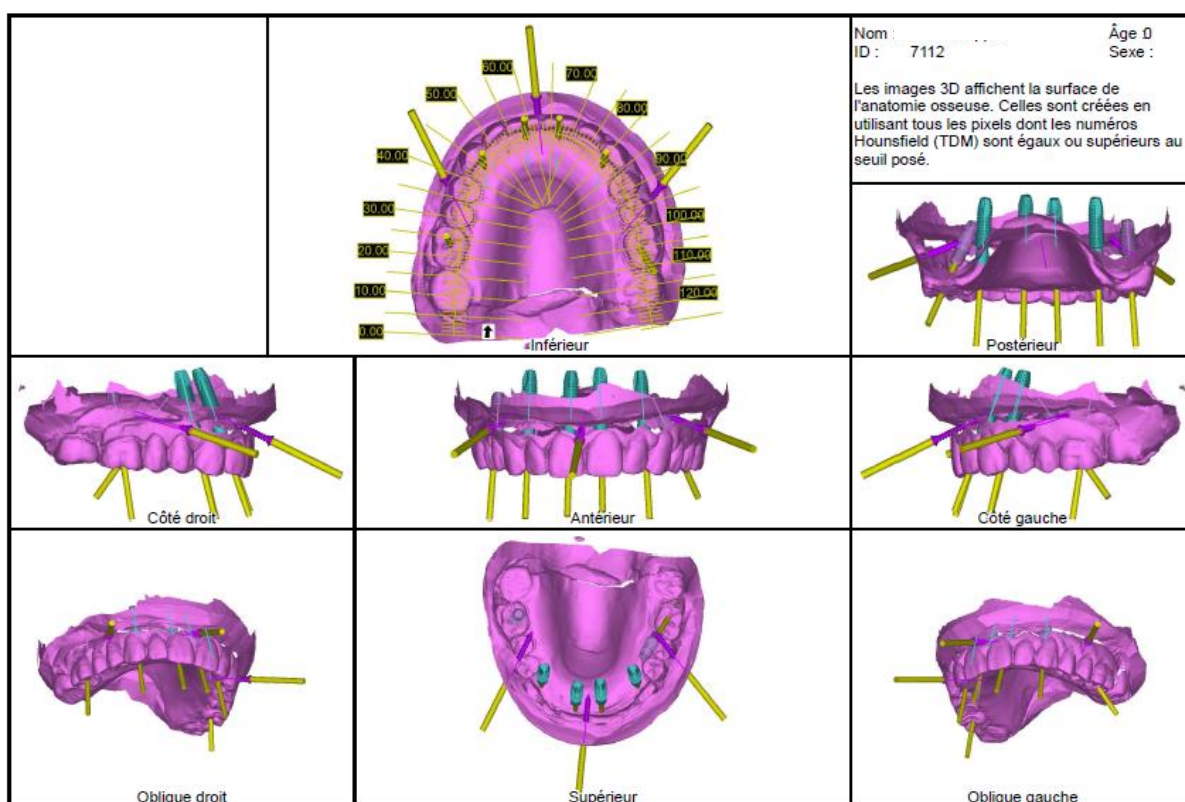


Figure 26 : Vues 3D de la planification de Mr J.

Label	Diamètre (mm)		Long (mm)	Inclin. (°)	Tour (°)
	Occlusal	Apical			
11	4.00	2.40	13.00	18.99	4.80
13	4.00	2.40	13.00	13.87	7.88
16	5.00	2.40	9.00	9.60	25.93
21	4.00	2.40	13.00	20.52	-3.39
23	4.00	2.40	13.00	13.98	-14.98
26	4.50	2.70	9.00	39.98	-147.42
Vis ...	2.00	2.00	17.00	63.74	5.73
Vis ...	2.00	2.00	17.00	72.35	26.74
Vis ...	2.00	2.00	17.00	76.17	-38.74

Figure 27 : Tableau récapitulatif des caractéristiques de chaque implant de la planification de Mr J.

Une imprécision de positionnement de quelques millimètres ou une modification d'angulation minime, peut compromettre la réalisation de la prothèse. La solution, pour contrer ces facteurs d'imprécisions, passe par la confection d'un guide chirurgical. Ce guide est fixé à l'os par des vis d'ostéosynthèse pour augmenter sa stabilité et la précision du transfert en bouche.

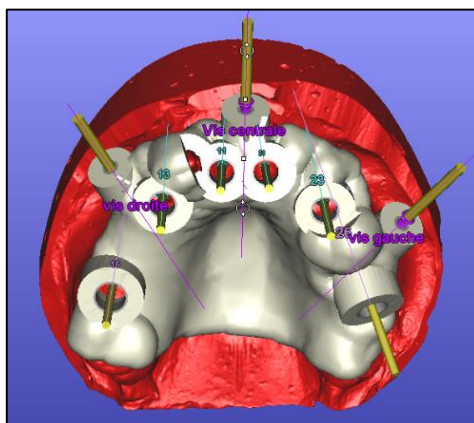


Figure 28 : Planification du guide chirurgical stéréolithographié

Quatrième partie : Guide chirurgical, mise en place des implants et pose de la prothèse

La planification implantaire doit être reproduite en bouche à l'identique pour que la prothèse puisse être mise en place dans le même temps opératoire que la pose des implants. Les dents seront extraites et les structures osseuses ne seront pas visibles en totalité. Cette absence de repère crée la nécessité d'utiliser un outil de transfert pour faire le lien entre la situation numérique et la situation en bouche. Cet outil est le guide chirurgical.

4 .1 Guide chirurgical stéréolithographique sur mesure

Ce guide, produit sur mesure par stéréolithographie, est le chaînon indispensable dans la précision du transfert en bouche. Il vise à guider la pose des implants afin que la situation post-chirurgicale en bouche se rapproche au maximum de la planification.

Le guide chirurgical est fourni avec une reproduction de la situation en bouche au moment de la pose des implants (figure 29 et 30).

Pour notre patient Mr J, un guide à appui dentaire a été réalisé. Il s'appuie sur 12, 18 et 24, qui sont donc présente sur le modèle représentant la bouche du patient (figure 29). De plus, le guide présente un aménagement en secteur 1 pour pouvoir procéder au comblement osseux.



Figures 29 et 30 : Guide chirurgical et modèle stéréolithographiques

4.2 Confection de la prothèse

Le prothésiste commence par réaliser une clé en silicone rigide, marquant la position des dents du wax up par rapport au modèle en plâtre. Le prothésiste crée des encoches sur le socle du modèle en plâtre, la clé enregistre les faces vestibulaires de toutes les dents ainsi que les encoches (figure 31). Le guide chirurgical est reçu par le laboratoire de prothèse. Le prothésiste l'utilise pour marquer l'emplacement des futurs implants sur le modèle en plâtre. Des emplacements larges sont aménagés. Les analogues sont insérés et de la résine est injectée autour pour les incruster dans le modèle en plâtre. Ils sont maintenus dans la bonne position grâce au guide chirurgical pendant la prise de la résine. Une fois les analogues positionnés, le wax up est évidé au niveau des piliers implantaires (figure 32). Une armature en fibre de verre à trois brins est confectionnée. Les faces vestibulaires des dents du wax up sont positionnées à l'aide de la clé en silicone ; de la résine est mise en place et l'armature incluse.



Figure 31 : Clé de repositionnement

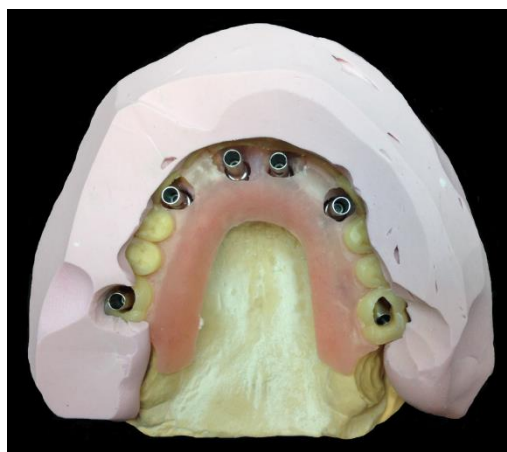


Figure 32 : Clé, wax-up et analogues

4.3 Pose des implants

Selon le système, une liste avec un aperçu des implants prévus est incluse, comme un manuel spécifique au patient. La caractérisation des implants, selon leur position, est résumée sur l'annexe 2. Elle permet d'organiser les forets et les cuillères de la trousse de chirurgie afin de faciliter l'intervention, pour que les largeurs et les profondeurs de forage soient respectées (figure 33).

L'insertion correcte des cuillères, des forets et des portes implants dans le guide jusqu'à la butée, est vérifiée. Le guide est stérilisé à froid, bien que le nouveau manuel de procédure Simplant spécifie que le guide est stérilisable en autoclave 20 minutes à 120°C.

L'intervention commence avec la préparation du patient, la désinfection péri-buccale, l'anesthésie. Les dents sont extraites à l'exception de 12 18 et 24 supports du guide (figure 34) et le guide est essayé en bouche. Un comblement sous sinusien est prévu en secteur 1 : un lambeau de pleine épaisseur est levé en vestibulaire, une fenêtre osseuse est réalisée. Le guide est conçu pour que cette intervention ne perturbe pas sa mise en place et sa stabilité. Il est échancré aux alentours de la fenêtre osseuse (figure 35).

La position du guide est ensuite sécurisée par la mise en place des vis d'ostéosynthèse qui le solidarisent au maxillaire du patient. (Figure 36)

Les différentes séquences de forage préparent les sites à recevoir les implants et les 6 implants sont insérés à travers le guide. (Figure 37 et 38)

Les vis d'ostéosynthèse puis le guide chirurgical sont retirés et les dents support du guide sont extraites. La phase chirurgicale se termine avec la suture du lambeau précédemment évoqué.



Figure 33 : Trousse Simplant®



Figure 34 : Situation en bouche après extraction et préservation des dents supports du guide



Figure 35 : Fenêtre osseuse et guide chirurgical



Figure 36 : Mise en place des vis de transfixation

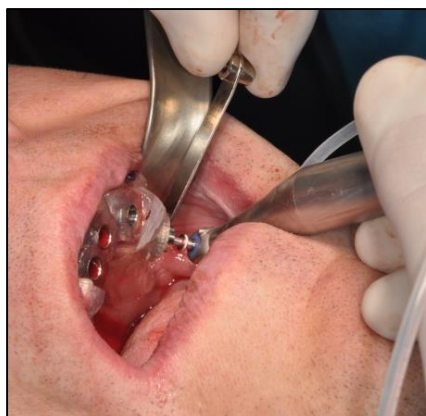


Figure 37 : Forage



Figure 38 : Mise en place d'un implant

4 .4 Pose de la prothèse

Une fois les sutures réalisées, les piliers sont placés sur les implants à l'aide d'une clé en silicone rigide. Ces piliers sont des piliers provisoires modulables préalablement ajustés en laboratoire. La figure 39 montre la clé sectionnée et les piliers de 11 et 13 positionnés sur les implants. Cette étape permet de vérifier la position des implants par rapport à la prothèse réalisée en amont. Cette prothèse est visible sur la figure 40, des puits d'un diamètre large ont été réalisés afin de permettre l'insertion des piliers. Ces espaces sont comblés avec de la résine lors d'un rebasage en bouche (figure 41 et 42) pour permettre de transvisser la prothèse dans les implants. Le patient peut alors sortir du cabinet avec son nouveau sourire. Des rebasages de la prothèse seront effectué tous les mois afin de guider la cicatrisation gingivale (figure 43). Le résultat provisoire est visible sur la figure 44.



Figure 39 : Clé sectionnée et piliers de 11 et 13 positionnés sur les implants



Figure 40 : Prothèse réalisée en amont



*Figure 41 : Rebasage de la prothèse
et inclusion des piliers*



Figure 42 : Pilier indexés dans la prothèse



Figure 43 : Rebasage de la prothèse à 2 mois pour modeler la gencive



Figure 44 : Sourire du patient avec le bridge provisoire

Cinquième partie : Discussion, indications

5 .1 Facteurs de réussite d'une extraction-implantation mise en charge immédiate

Les traitements par extraction implantation et mise en charge immédiate sont aujourd'hui admis comme étant une thérapeutique fiable. Les bridges totaux présentent des taux de survie de 97,25%. Les bridges partiels à la mandibule immédiatement mis en fonction présentent des taux de survie moyens de 95,83%. On peut donc considérer que la MCI dans ce type de reconstruction montre de bons résultats mais qu'il faut absolument contrôler la mise en fonction afin que celle-ci ne soit pas excessive. Les résultats pour la MCI unitaire à la mandibule comme au maxillaire varient entre 96 et 100%, la MCI unitaire devient un traitement de référence dans les zones esthétiques. La condition est d'obtenir une bonne stabilité primaire et de solidariser les implants avec une prothèse préfabriquée. (36) (37) (38)

5 .1 .1 Critères de réussites

Lors d'une extraction implantation, les critères de succès retenus sont l'absence de mobilité cliniquement détectable des implants, l'absence de douleurs, l'absence d'infection péri-implantaire et l'absence d'un liseré radioclaire continu autour des implants. Du point de vue prothétique, les critères de succès sont avant tout la satisfaction du patient, l'alignement des collets, le respect du plan d'occlusion, la présence de papille si la prothèse ne présente pas de fausse gencive, l'absence de métal apparent à travers la muqueuse.(39)

5 .1 .2 Optimisation de la stabilité primaire et de l'ostéointégration (42) (43) (44) (47)

Le critère chirurgical essentiel permettant de valider la réussite du traitement implantaire lors d'une MCI est la stabilité primaire de l'implant et le maintien de cette stabilité malgré une mise en fonction immédiate. Cette réussite dépend de nombreux facteurs (41) :

- **La densité osseuse** : L'implant présente un meilleur ancrage primaire lorsqu'il est inséré dans un os dense. La résistance aux micromouvements délétères durant les premières semaines de cicatrisation est augmentée, quel que soit le protocole utilisé.

- **Le volume osseux** : La stabilité et la cicatrisation osseuse péri implantaire augmentent avec le nombre de parois persistantes après l'extraction.
- **Le design implantaire** : Les implants cylindro-coniques présente de par leur forme une meilleure stabilité primaire.
- **L'état de surface des implants** : Il est aujourd'hui admis que l'ostéointégration est supérieur pour les implants à surface rugueuse.
- **Le nombre d'implants** : Plus le nombre d'implants est important, plus les forces sont réparties.
- **La longueur des implants** : L'ancrage implantaire augmente avec sa longueur.
- **La distribution stratégique des implants sur l'arcade** : la disposition en arc de cercle est un facteur mécanique favorable permettant une transmission équilibrée des forces.
- **La technique opératoire**
 - **La rigidité du bridge transitoire mis en charge immédiatement** : Le bridge à un effet de « contention » sur les implants, il est admis que pour les implants à surface rugueuse, des micromouvements allant jusqu'à 100 microns ne sont pas délétères pour l'ostéointégration.
 - **L'adaptation passive du bridge transitoire** pour protéger l'interface os-implant de forces délétères pouvant entraîner des déplacements. (45)
 - **La limitation des extensions sur le bridge transitoire** : Ceci afin d'éviter le porte à faux-prothétique responsable d'application sur l'implant de contraintes en dehors de son axe.
 - **La stabilité de l'occlusion** : Dans le cadre d'une réhabilitation complète d'arcade, l'occlusion doit être totalement équilibrée, aucune surcharge occlusale statique ou dynamique ne doit être détectée.
 - **Le respect par le patient des consignes alimentaires** : Pour limiter au maximum les contraintes exercées sur les implants, le patient doit strictement respecter une alimentation exclusivement molle durant 3 mois à partir de la pose de la prothèse.

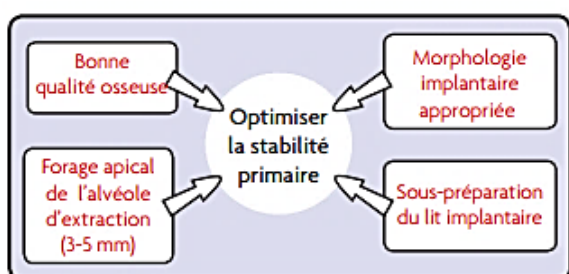


Figure 45 : Facteurs permettant d'optimiser la stabilité primaire des implants (46)

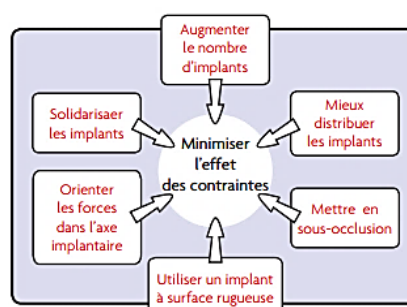


Figure 46: Facteurs permettant de minimiser l'effet des contraintes exercées sur les implants (46)

5 .1 .3 Facteurs de réussite prothétiques

- **intégration esthétique** : L'intégration esthétique est un critère de réussite subjectif dont la réussite est conditionnée en majeure partie par la qualité de l'étude préimplantaire, par la justesse des mesures prise sur le patient, par la coordination dentiste - prothésiste lors de l'élaboration et de la validation du projet prothétique, et enfin par la dextérité du prothésiste.

Il y a cependant quelques règles à respecter. La papille est présente entre deux dents ou deux couronnes si la distance entre l'os et le point de contact est inférieur à 5 mm. Le résultat est considéré comme satisfaisant si la papille comble l'espace dentaire à plus de 50%. Sur un parodonte fin, le pilier devra être en zircone ou un renfort gingival sera envisagé. (48)

- **fonctionnelle** : La mastication est une fonction limitée par l'obligation d'alimentation molle. La phonation dépend du contact lèvre inférieure et bord libre des incisives supérieures et de l'appui dental de la langue en palatin. (15)

5 .2 Apport de l'IAO

L'utilisation de l'implantologie assistée par ordinateur, dans un traitement complexe comme celui réalisé chez Mr J., a pour but d'optimiser à la fois le temps au fauteuil mais aussi le résultat esthétique.

5 .2 .1 Esthétique des tissus mous et de la prothèse (49) (15)

- **Pose des implants en fonction de la prothèse** : La position et l'axe des implants sont définis pour correspondre à la prothèse envisagée (implants au niveau des racines afin de préserver les espaces interdentaires). Les puits de vis se situent dans les zones sans incidence esthétique (sur le cingulum des incisives offrant un accès par la face palatine et non vestibulaire).

- **Le résultat esthétique est immédiat** : le patient n'est jamais édenté.

- **Apport psychologique** : Le patient ne subit pas le traumatisme de se retrouver brusquement édenté, ce qui crée un retrait social, une confrontation au vieillissement et une perte de confiance.

- **La mise en condition tissulaire** : La prothèse transitoire guide la cicatrisation des tissus mous, la présence de couronnes dentaires permet de préserver les papilles initialement présentes entre les dents et les rebasages successifs modèlent les tissus mous. La modélisation tridimensionnelle

permet d'anticiper le remodelage du tissu osseux pour maximiser le résultat esthétique sur la gencive.

5 .2 .2 Précision et sécurité

- **Précision du guide chirurgical** : Les machines de stéréolithographie fabriquent les guides chirurgicaux avec une imprécision de 0.1 mm par 100 mm, soit 0.1%. Les premières études réalisées sur des cadavres et des modèles en plâtre comparent les trois types de guides, à appui muqueux, osseux et dentaire, sans tenir comptes des aléas de la prise de la radiographie et de la chirurgie. De multiples études menées depuis 2003, dont les plus récentes sont les études de Ozan et al. 2009 (19) et de Schneider et al. en 2009 (73), permettent cependant d'affirmer que le guide à appui dentaire est le plus précis.

- **Précision du placement des implants** : C'est là un point fondamental dans l'apport de l'IAO à la pratique implantaire. Une étude de Vercruyssen et al de 2015 décrit des déviations moyennes de 0.9mm au point d'entrée, de 1.2 mm à l'apex, et un angle de déviation de 2.7 degré. (50)

Différentes études ont été menées, concernant la chaîne de transposition des informations, de la radiographie pré-implantaire jusqu'à l'acte chirurgical. Le tableau en annexe 3 récapitule les différentes études réalisées et les résultats obtenues. (53) (54) (55) (56) (57) (58) (59) (60) (19)

Sarment et al. en 2003 (51) comparent la pose d'implant avec un guide stéréolithographique et la pose d'implant avec un guide chirurgical conventionnel. Nickenig et al, en 2009 (52) étudient la différence entre planification et résultat après la pose d'implant par guide stéréolithographique. Il ressort de ces études que la précision est augmentée ainsi que la reproductibilité.

- **Sécurité** : La précision au millimètre près permet de positionner les implants à proximité des structures anatomiques nobles.

5 .2 .3 Apports spécifique à la planification tridimensionnelle (61) (62)

- **Etude de la qualité osseuse** : Ce critère est essentiel dans le cadre d'une mise en charge immédiate.

- **Exploitation idéal du volume osseux** : L'approche tridimensionnelle permet, par rapport aux planifications en 2D sur planche, d'optimiser tous les volumes osseux lors du placement et du

choix des implants, tandis que la précision du transfert en bouche permet de se placer sereinement dans un volume osseux réduit.

- **Exploitation de la prothèse** : Le projet prothétique incorporé au scanner du patient permet de placer les implants par rapport à la prothèse.

5 .2 .4 Rapidité/temps au fauteuil minimisé

- **Conception du projet prothétique numérique et retouche** : grâce au logiciel de CAO, le projet prothétique créé numériquement et les retouches se font rapidement. Ceci est aujourd'hui plutôt pertinent pour les restaurations de faible étendue. L'expérience et l'intervention du prothésiste sont encore irremplaçables dans certaines situations complexes.

- **Conception des guides chirurgicaux** : un guide « conventionnel » est réalisé en 24 et 48h car il nécessite de nombreuses étapes de laboratoire (coulée du plâtre, transformation du guide radiologique, traitement des résines, finition, polissage). Pour un guide numérique, il faut 15 minutes pour concevoir le guide. Pour le fabriquer, les machines-outils travaillent quelques heures, de nuit, et ne mobilisent ainsi que peu de ressources humaines.

- **Le choix et le positionnement des implants est plus rapide** : en comparaison avec une planification sur planche. Toutes les informations se trouvent sur le même écran et les corrections apportées se reflètent simultanément sur les différentes fenêtres.

- **Outil de communication et collaboration** : La reconstruction en 3D est un outil de communication apprécié des patients qui visualise plus facilement le traitement.

- **Une seule intervention chirurgicale**

- **Réduction du temps chirurgical jusqu'à 25%** : Le praticien a déjà réalisé l'intervention mentalement. Arisan et al, en 2010, montre que la réduction du temps passé au fauteuil peut atteindre les 70% dans certaines conditions, notamment avec une intervention en flapless. (63)

5 .2 .5 Confort du patient (63) à (71)

- **Suite post opératoire** :

Lors d'une chirurgie avec un guide stéréolithographique, il est possible de poser les implants sans réaliser de lambeau ; soit en plaçant les implants dans les alvéoles après extraction, soit avec une technique « Flapless ». D'une part, ces deux protocoles limitent la résorption osseuse post-extractionnelle. D'autre part, après l'utilisation d'une technique flapless préservant le périoste, les

gonflements et hématomes sont réduits. Arisan et al, 2010, (63) montre une réduction de la prise d'antalgique par le patient.

- **Psychologique** : La réduction du nombre de séances nécessaires limite au maximum les contraintes pour le patient. Contrairement aux mises en charge immédiates « classiques », le patient ne passe plus un seul instant édenté. L'impact psychologique des extractions est réduit à son minimum.

5.3 Limites de la méthode et perspectives d'évolution

5.3.1 Imprécisions (72)

- **Biais lors de la reconstitution de l'image 3D :**

Lors de l'acquisition de l'imagerie 3D, se produisent différents biais. Les artéfacts métalliques qui correspondent à la réfraction du rayonnement sur les particules métalliques. Les micromouvements du patient durant l'acquisition se répercutent sur l'image enregistrée. L'appareil de radiographie possède un étalonnage et une définition qui lui est propre, la précision de l'image enregistrée dépend de l'isotropie exacte (étalonnage) et de la dimension (précision) du voxel. Les images acquises sont combinées par un logiciel pour former un volume en trois dimensions dans lequel le praticien pourra se déplacer à loisir, cette reconstitution a une précision variable selon les logiciels. Une fois l'image tridimensionnelle obtenue, les artéfacts sont nettoyés et les différents éléments anatomiques composant la cavité buccale sont isolés en définissant arbitrairement un intervalle de densité propre à chacun, induisant nécessairement un pourcentage d'erreur. L'ensemble des biais rencontrés pendant les étapes conduisant à l'obtention de l'image 3D exploitable est en moyenne inférieur à 0.5mm.

- **Erreur de lecture** : Les différences de minéralisation de l'os, avec des zones de hautes densités jouxtant des zones de faible densité, peuvent conduire le praticien à interpréter ces dernières comme étant des lacunes osseuses.

- **Réalisation du guide en FAO** : La précision des machines-outils réalisant les guides chirurgicaux par stéréolithographie est de 0.1 à 0.2 mm.

- **Positionnement et stabilité du guide** : Le guide doit être positionné exactement comme prévu. Pour les guides à appui dentaire, une fenêtre de quelques millimètres est aménagée pour valider visuellement le bon positionnement du guide. Le guide est stabilisé par des vis qui le solidarisent au tissu osseux du patient. Mais la pose des vis nécessite d'exercer une force importante sur les

côté du guide risquant de le déstabiliser ou le déplacer, même de quelques dixième de millimètres.

- **de l'espace foret-cuillère et cuillère-cylindre guide** : L'espace entre ces différents composants est minime pour garantir la précision du forage osseux. Cependant un jeu entre les éléments est incontournable pour permettre leur insertion correcte et leur rotation. Les forêts subissent une déviation inférieure à 0,1mm entre chaque forage. Les déviations mesurées une fois l'implant posé sont en moyenne de 1 mm sur la crête osseuse et vont jusqu'à 2 mm à l'apex.

La profondeur est contrôlée par la butée du foret contre la cuillère.

- **Pas d'essayage prothétique** : La position des dents n'est pas validée par un essayage en bouche. Il existe donc toujours une approximation esthétique et fonctionnelle.

Toutes ces marges d'erreur, bien que minime, sont considérable à l'échelle d'un implant et rendent impossible la réalisation en amont d'une prothèse transvissée définitive s'insérant sur plusieurs implants.

5.3.2 Complications

En 2009, l'équipe de Schneider (73) a réalisé sur 428 patients une méta-analyse illustrant différents incidents. Les complications ont été classées selon leur nature. La plus fréquente est le manque d'accès (25,6 %). Ce problème ne concerne que les zones postérieures. Elle est particulièrement présente en chirurgie guidé : la hauteur du couple contre-angle-foret reste importante, et le point d'insertion du foret ne se situe pas au niveau de la crête osseuse mais au niveau du cylindre de forage, ce qui réduit la hauteur disponible. L'ouverture buccale est un facteur déterminant pour le bon déroulement de la chirurgie. Le praticien peut gagner quelques précieux millimètres en insérant d'abord le foret dans le cylindre du guide, avant de le fixer au contre-angle. Certains systèmes de guidage ont un guide de forage avec des ouvertures latérales sur les tubes. Ceux-ci permettent l'insertion des forets par la face linguale/palatine ou vestibulaire, ainsi la hauteur d'espace inter-occlusal requis est réduite. (3)

Les autres complications rencontrées sont décrites dans l'annexe 4. Cependant, la grande majorité des complications relevées ne sont pas imputables à la technique d'IAO mais font parties des aléas de toute chirurgie implantaire. Ces complications, souvent mineures, seront gérées avec aisance pour peu que le praticien soit expérimenté. Elles sont liées à la méthode et le chirurgien-dentiste en tiendra compte lors de l'évaluation et de la préparation du cas.

5 .3 .3 Rapport du groupe ITI (International Team of Implantology) (74)

Ce groupe, composé de docteurs en chirurgie dentaire de diverses nationalités, s'est constitué afin d'établir, en se basant sur la littérature disponible, un consensus sur la valeur clinique actuelle, les avantages et les inconvénients de l'implantologie assistée par ordinateur.

Ce groupe souligne les avantages suivants :

- Possibilité d'une chirurgie moins complexe.
- Possibilité de placer les implants plus précisément dans le volume d'os disponible limitant les greffes.
- Eviter les obstacles anatomiques et sécuriser les gestes à proximité.

Les deux points précédents indiquent l'utilisation de l'implantologie assistée par ordinateur dans les cas complexe où les obstacles anatomiques contraindraient la pose d'implant par une méthode « traditionnelle ».

- Possibilité d'une chirurgie sans lambeau limitant les suites post-opératoire.
- Une amélioration de la précision de la position de l'implant donc une amélioration des résultats prothétiques et une possibilité de faciliter la préfabrication de la prothèse.
- Une augmentation de la précision chirurgicale donc une augmentation du taux de survie des implants.
- Avec le temps, cet outil pourrait avoir un potentiel pédagogique.

Le groupe ITI note aussi que l'apprentissage et la réussite de cette méthode, directement liés à l'utilisation des guides chirurgicaux, est sensible et opérateur dépendant.

CONCLUSION

Le traitement implantaire est une solution thérapeutique fiable et reproductible mais aussi complexe. Les indications, l'analyse pré-implantaire et la conception du plan de traitement sont des étapes clés dans la réussite de la thérapeutique. L'implantologie assistée par ordinateur intervient comme un outil d'aide dans l'élaboration du traitement et sa réalisation. Les logiciels de planification et de simulation comme Simplant permettent d'apprécier précisément l'anatomie du patient. L'inclusion du projet prothétique au scanner met aujourd'hui plus que jamais la prothèse au centre des décisions. Les guides chirurgicaux stéréolithographiés, conçus et produits sur mesure à partir d'une image numérique d'une précision de l'ordre du dixième de millimètre sont le maillon indispensable au transfert en bouche des données. Grâce à la chaîne de précision mise en place dans la technique d'implantologie assistée par ordinateur, le temps chirurgical est réduit, les risques chirurgicaux liés à l'anatomie sont amoindris, le confort du patient est maximisé, le stress du prothésiste est restreint en comparaison avec les protocoles de mise en charge immédiate. Si le protocole Simplant-Surgiguide est présenté comme simplifié, il ne l'est qu'au moment de la chirurgie. Les étapes préalables de réflexion sont, elles, complexifiées et demandent une rigueur extrême. La méthode contraint le praticien et le prothésiste à anticiper toutes les étapes du traitement final. L'attention particulière apportée à la conception du traitement et particulièrement à la prothèse avant la phase chirurgicale et le transfert en bouche à l'identique maximise les chances d'un résultat optimal. Cependant, la réussite du traitement dépendra entièrement de la capacité du praticien à concevoir le traitement idéal.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Tableau présentant les différents logiciels de planification (3)

Application	Website	Company	Virtual implant planning	Guide	Drill guide production
Static systems (surgical guides)					
3D StendCad	www.implant3d.com	Media Lab, Italy	Yes	None	
Ay Tasarim	www.med.aytasaim.com	Ay Tasarim, Turkey	No	Surgical guide	Sterolithography
Biodental Models	www.med.aytasaim.com/	Biomedical Modeling, USA	Yes	Surgical guide	Sterolithography
EasyGuide	www.keystonedental.com	Keystone Dental, USA	Yes	Surgical guide	Laboratory
GALL EOS Implant	www.sicat.com	SICAT, Germany	Yes	Surgical guide	Laboratory
Guide	www.bioparts.com.br	Bioparts, Brazil	Yes	Surgical guide	Sterolithography
Implant 3D	www.med3d.de	Med3D, Switzerland	Yes	Surgical guide	Laboratory
ImplantVierwer	www.annesolutions.com.br	Anne Solutions, Brazil	Yes	None	
InVivo5	www.anatimage.com	Anatimage, USA	Yes	Surgical guide	?
SICAT Implant	www.sicat.com	SICAT, Germany	Yes	Surgical guide	Laboratory
NobelClinician	www.nobelbiocare.com	Nobelbiocare, Sweden	Yes	Surgical guide	Sterolithography
Scan2Guide	www.ident-surgical.com	I-Dent Imaging, USA	Yes	Surgical guide	Sterolithography
Simplant	www.materialise.com	Materialise Dental, Belgium	Yes	Surgical guide	Sterolithography
Straumann® coDiagnostiX	www.straumann.com	Straumann, Switzerland	Yes	Surgical guide	Laboratory
VIP	www.biohorizons.com	Implant Logic Systems, USA	Yes	Surgical guide	Laboratory
Dynamic systems (navigation)					
IGI	www.image-navigation.com	Image Navigation, USA	Yes	None	Navigation
Ondemand3D Implant	www.cybermed.co.kr	Cybermed, Korea	Yes	None	Navigation
Robodent	www.robodent.com	Robodent, Germany	Yes	None	Navigation
Treon (medical)	www.medtronicnavigation.com	Medtronic Navigation, USA	Yes	None	Navigation
VISIT		University of Vienna, Austria	Yes	None	Navigation
Voxim	www.ivs-technology.de	IVS, Germany	Yes	None	Navigation

ANNEXE 2: Résumé de la planification en vue de la chirurgie

SIMPLANT®

SIMPLANT® SAFE Guide - ASTRA TECH Implant System TX Surgical Guideline

Order ID: 32375255
 Patient name: JEU Philippe
 Design check:

Guide support				Quality Control						
	Bone	Mucosa	Tooth							
Maxilla			X							
Mandible										

Initials										
Signature										
Tooth Position / Name			16	13	11	21	23	26		
Tray Position	R5	R4	R3	R2	R1	L1	L2	L3	L4	L5
Implant Ref.No.			24961	24943	24943	24943	24943	24632		
Implant size Ø (mm)			5.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.50		
Implant length (mm)			9.0	13.0	13.0	13.0	13.0	11.0		
Twist Drill Key height (mm)			2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0		
Twist Drill length (mm)			22.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0		
Twist Drill 2.0 mm (white)			▼	▼	▼	▼	▼	▼		
Twist Drill 3.2 mm (green)			▼	▼	▼	▼	▼	▼		
Twist Drill 3.35 mm (black)										
Twist Drill 3.7 mm (black)			▼	▼	▼	▼	▼			
Twist Drill 3.85 mm (brown)										
Twist Drill 4.2 mm (yellow)										
Twist Drill 4.7 mm (blue)										
Twist Drill 4.85 mm (rose)										
Conical Drill Key height (mm)			1					1		
Conical Drill 4.5 (green)								▼		
Conical Drill 5.0 (black)			▼							
Implant Holder height (mm)			11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0		

▼ - The specific drill is enclosed and is recommended to be used.

ANNEXE 3: Tableau récapitulatif des études concernant la précision de la chirurgie guidée assistée par ordinateur, avec mesure des déviations entre réalité clinique et prévision informatique

Références			Variation de position (mm)		Changement de l'angulation (°)	
	Logiciel	Nombre d'implant	Col	Apex	Mésio-distal	Vestibulo-lingual
Besimo et al (2000) (53)	Implant	Non renseigné	0.30±0.60		Non renseigné	Non renseigné
Sarment et al (2003) (54)	Implant	10	0.90±0.50	1.00±0.60	Non renseigné	Non renseigné
Di Giacomo et al. (2005) (55)	Implant	21	1.45±1.42	2.99±1.77	7.25±2.67	
Nickenig et Eitner (2007) (56)	Nobel Guide	250	≈ 1.00		≈5.00	
Van Assche et al. (2007) (57)	Nobel Guide	12	1.10±0.70	2.00±0.70	1.80±0.80	
Ersoy et al. (2008) (58)	Nobel Guide	94	1.22±0.85	1.51±1.00	4.90±2.36	
Ozan et al. (2009) (19)	Nobel Guide	110	1.11±0.70	1.41±0.90	4.10±2.30	
D'Haese et al. (2009) (59)	Implant	77	0.90±0.44	1.13±0.52	4.90±2.36	
Al-Harbi et Sun (2009) (60)	Implant	40	0.20±0.72		0.70±5.02	0.46±4.4

ANNEXE 4 : Complications de la chirurgie guidée et fréquence (Schneider et al. 2009)

Nature de la complication	Complications (%)	Patients (%)
Accès insuffisant	25.6	2.3
Grefe osseuse nécessaire	20.5	1.9
Fenestration	7.7	0.7
Fracture du guide chirurgicale	7.7	0.7
Manque de stabilité primaire	2.6	0.2
Insertion d'implant plus large	5.1	0.5
Insertion d'implant plus court	2.6	0.2
Insertion d'implant moins large	2.6	0.2
Impossibilité de placer l'implant	2.6	0.2
Infection des sites forés	7.7	0.7
Sinusite aigue	5.1	0.5
Fistule marginale	2.6	0.2
Fistule boccu-sinusienne	2.6	0.2
Douleur prolongées	2.6	0.2
Défaut gingival	2.6	0.2
Total	100	9.1

BIBLIOGRAPHIE

1. NOHARET R. **Contribution à l'assurance qualité des dispositifs médicaux en implantologie orale : à propos de la précision du placement implantaire.** Human health and pathology. Université Claude Bernard - Lyon I, 2014.
2. DAVARPANH M, SZMUKLER-MONCLER S. et al. **Implantologie Assistée par ordinateur.** Rueil-Malmaison, Ed. CdP., 2010.
3. VERCROYSEN M, FORTIN T, WIDMANN G, REINHILDE J, GUIRYNEN M. **Different techniques of static/dynamic guided implant surgery: modalities and indications.** Periodontology 2000, Vol. 65, 2014, 1–15
4. BELLAICHE N. **Le scanner dentaire : principe, technique, dosimétrie et indications.** Publié sur le site internet www.dentalespace.com. Juin 2005
5. CAVEZIAN R, PASQUET G, BATARD J. **Imagerie sectionnelle en odontostomatologie : de la tomographie au scanner Rx et au cone beam.** Real Clin 2008 ; 19 : 151-164.
6. CHAU AC, FUNG K. **Comparison of radiation dose for implant imaging using conventional spiral tomography, computed tomography, and cone-beam computed tomography.** Oral Pathol Oral Radiol Endod 2009 ; 107 : 559-565.
7. 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 : 131-145.
8. DURIF V. **Exploitation du logiciel de simulation implantaire SimPlant®, et utilisation d'un guide chirurgical stéréolithographique SAFE system.** Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lyon : 2006.

9. ATTAL P. **Description et utilisation des systèmes assistés par ordinateur en chirurgie implantaire et en prothèse implantaire.** Mémoire pour le diplôme inter-universitaire d'implantologie orale, Lyon ;2009.
10. Yvon Gardan, **La Cfao**, édition Hermes, 1986
11. **Guide de la CFAO dentaire** www.cnifpd.fr/guidecfao/adresses.html
12. ASSEMAT TESSANDIER X. ; AMZALAG G. **La décision en implantologie.** Edition CdP, Paris, 1993
13. DAVARPANH M, SZMUKLER-MONCLER S et al. **Manuel d'implantologie clinique Concepts protocoles et innovations récentes 2^{ème} édition.** Rueil-Malmaison, Ed. CdP, 2008
14. BERT M, MISSIKA P. **Les clés du succès en implantologie : prévenir les complications et les échecs.** Rueil-Malmaison, Ed. CdP, 2009.
15. DADA K, DAAS M, MALO P. **Esthétique et implants pour l'édenté complet maxillaire** Ed : Quintessence International, 2011
16. B. ELLA B, E. MOREAU E, E. BAYLE E, FORTIN T, HAURET L, ARDOUIN S, LASSERRE J-F. **Chirurgie numérique guidée en implantologie orale. Une alternative pour les écueils anatomiques et chirurgicaux**
17. CHICHE F, DAVARPANH M, MARTINEZ H. **Le système 3I-implant innovations et la chirurgie esthétique implantaire : les raisons d'un choix.** J Paro Implant Oral 2002 ; 21 (2) : 137-52.
18. <http://www.iluac.com/> Chapitre 34 Import et Export
19. OZAN O, TURKYILMAZ I, ERSOY AE, McGLUMPHY EA, ROSENSTIEL SF. **Clinical accuracy of 3 different types of computer tomography-derived stereolithographic surgical guides in implant placement.** J Oral Maxillofac Surg 2009 ; 67 : 394-401.

20. BAUDOIN C, BENNANI V. **Un projet prothétique en implantologie.** Ed : Quintessence International ; 2003.
21. CAVEZIAN R, FORTIN G, PASQUET G, BATARD J. **Imagerie cone beam et implants : les points de vue conjoints du radiologue et du chirurgien.** Implant 2009 ; 15 : 165-188.
22. CAVEZIAN R, PASQUET G. **L'imagerie médicale en odontologie.** Rueil-Malmaison Ed: CdP, coll. «Mémento », 2005.
23. CALVACANTI MG, RUPRECHT A, VANNIER MW. **3D volume rendering using multislice CT for dental implants.** Dentomaxillofac Radiol 2002 ; 31 : 218-223.
24. JACOBS R, ADRIANSENS A, VERSTREKEN K, SUETENS P, VAN STEENBERGHE D. **Predictability of a three-dimensional planning system for oral implant surgery.** Dentomaxillofac Radiol 1999 ; 28 : 105-111.
25. MISSIKA P, BENHAMOU-LAVNER A, KLEINFINGER-GOUTMANN I. **Accéder à l'implantologie.** Ed: CdP ; 2003.
26. LANDOUZY JM, SERGENT DELATTRE A, FENART R, DELATTRE B, CLAIRE J, BIECQ M. **La langue, la déglutition, les fonctions oro-faciales, la croissance crânio-faciale.** International Orthodontics 2009; 7 : 227-256
27. <http://www.ditramax.com/presentation/>
28. SIMONPIERI A, CHOUKROUN J, GIRARD MO, OUAKNINE T, DOHAND. **Immediate postextraction implantation: interest of the PRF® .** Implantologie. Volume 13, Issue 3, July-September 2004, 177-189.
29. SZMIKLER-MONCLER S, DAVARPANH M, DAVARPANAH K, RAJZBAUM P, KHOURY P.M. **Le guide radiologique : indications et élaboration.** CdP ; 2011.

30. CANNAS B, BOUTIN N, TRAN M.L, Sapo Implant. **L'évolution digitale, le Flux Numérique : Apport de l'imagerie numérique 3D En chirurgie et en prothèse implanto-portée**
Dental Tribune Édition Française, Février 2015
31. DAVARPANAH M, JAKUBOWICZ-KOHEN B, CARAMAN M, KEBIR-QUELIN M. **Les implants en odontologie**. Ed : CdP ; 2004.
32. BELLINI CM, ROMEO D, GALBUSERA F, AGLIARDI E, PIETRABISSA R, ZAMPELIS A, FRANCETTI L. **A finite element analysis of tilted versus non-tilted implant configurations in edentulous maxilla**. Int J Prosthodont 2009 Mar-Apr ; 22 (2) : 155-157.
33. LAMBERT F-E. **Descriptive analysis of implant prosthodontic survival rate with fixed implant-supported rehabilitations in the edentulous maxilla**. J periodontal 2009. aug :80(8)1220-30.
34. MERTENS C. **Implant-supported fixed prostheses in the edentulous maxilla: 8 Year prospective results**. Clin Oral Implant Res. 2011 May ;22(5) :464-72.
35. SAGAT G. **Influence of Arch Shape and implant position on stress distribution around implants supporting fixed full-arch prosthesis in edentulous maxilla**. 2010 Dec;19(6):498-508.
36. BEVILACQUA M. **The influence of cantilever length and implant inclination on stress distribution in maxillary implant supported fixed dentures**. 2011-08-28.
37. LECLOUX G, LAMY M. **La mise en charge immédiate en réhabilitation orale implantaire**. Revue Médicale Liège 2007; 62 : Synthèse 2006 : 36-41
38. CANNIZARO G, LEONE M, ESPOSITO M. **Immediate functional loading of implants placed with flapless surgery in the edentulous maxilla : 1- year follow up a single cohort study**. Int J Maxillofac Implants 2007 ; 22(1) : 87-95.

39. ORENTLICHER G, HOROWITZ A, GOLDSMITH D, DELGADO-RUIZ R, ABBOUD M. **Cumulative survival rate of implants placed "fully guided" using CT-guided surgery: a 7-year retrospective study.** *Compend Contin Educ Dent.* 2014 Sep;35(8):590-98, 600

40. DAVARPANAH M, CARAMAN M. **Succès prothétique d'un protocole de mise en charge immédiate au maxillaire chez le patient à risque.** *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry* Volume 27, Number 2, 2007

41. DISS A, BRINCAT T, PIERRE D, FOUGERAIS G. **Traitement implantaire de l'édenté complet maxillaire en mise en charge immédiate étude clinique rétrospective Generation Implant sur 324 implants ;** *Le fil dentaire* N°53, Avril 2010, 20-24

42. JEMT T, JOHANSSO J. **Implant treatment in the edentulous maxillae: a 15-year followup study on 76 consecutive patients provided with fixed prostheses.** *Clin Implant Dent Relat Res.* 2006;8(2):61-9.

43. ADELL R, LEKHOLM U, ROCKLER B, BRANEMARK P-I. **A 15 year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw.** *Int J Oral Surg.* 1981, 10, 387- 416.

44. SAKOH J, WAHLMANN U, STENDER E, et al. **Primary stability of a conical implant and a hybrid, cylindric screwtype implant in vitro.** *Int J Oral Maxillofac Implants,* 2006, 21, 560-566.

45. CANNIZARO G, LEONE M, ESPOSITO M. **Immediate functional loading of implants placed with flapless surgery in the edentulous maxilla : 1- year follow up a single cohort study.** *Int J Maxillofac Implants* 2007 ; 22(1) : 87-95.

46. SZMUKLER-MONCLER S, DAVARPANAH M, RAJZBAUM P, KHOURY P-M. **Implant chirurgie prothèse.** volume 19 février 2013.

47. SZMUKLER-MONCLER S, DAVARPANAH M, RAJZBAUM P. **Manuel d'implantologie clinique. Concepts, intégration des protocoles et esquisse de nouveaux paradigmes (3^e édition)** Editions CdP, 2012

48. RYSER MR. **Correlation of papilla to crestal bone levels around single tooth implants in immediate or delayed crown protocols.** J Paro Maxillo fac Surg. 2005 ; 63 : 1184-95
49. CLAVEL E. **La gestion des tissus mous périimplantaires au laboratoire.** Thèse d'exercice odontologie ; Nancy ; 2010.
50. VERCRUYSEN M, COX C, NAERT I, JACOBS R, TEUGHEL W, QUIRYNEN M. **Accuracy and patient-centered outcome variables in guided implant surgery: a RCT comparing immediate with delayed loading.** Clin Oral Implants Res. 2015 Mar 28. doi: 10.1111/clr.12583.
51. SARMENT DP, SURKOVIC P, CLINTHORNE N. **Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide.** Int J Oral Maxillofac Implants 2003 ; 18 : 571-577.
52. NICKENIG HJ, WICHMANN M, HAMEL J, SCHLEGEL KA, EITNER S. **Evaluation of the difference in accuracy between implant placement by virtual planning data and surgical guide templates versus the conventional free-hand method – a combined in vivo-in vitro technique using cone-beam CT (Part II).** J Craniomaxillofac Surg 2009
53. BESIMO CE, LAMBRECHT JT, GUINDY JS. **Accuracy of implant treatment planning utilizing template-guided reformatted computed tomography.** Dentomaxillofac Radiol 2000 ; 29 : 46
54. SARMENT DP, SURKOVIC P, CLINTHORNE N. **Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide.** Int J Oral Maxillofac Implants 2003 ; 18 : 571-577.
55. DI GIACOMO GA, CURY PR, DE AUROJO NS, SENDYK WR, SENDYK CL. **Clinical application of stereolithographic surgical guides for implant placement : preliminary results.** J Periodontol 2005 ; 76 : 503-507.
56. NICKENIG HJ, EITNER S. **Reliability of implant placement after virtual planning of implant positions using cone beam CT data and surgical (guide) templates.** J Craniomaxillofac Surg 2007 ; 35 : 207-211

57. VAN ASSCHE N, VAN STEENBERGHE D, GUERRERO ME, HIRSCH E, SCHUTYSER F, QUIRYNEN M et al. **Accuracy of implant placement based on pre-surgical planning of three-dimensional cone-beam images : a pilot study.** J Clin Periodontol 2007 ; 34 : 816-821.
58. ERSOY AE, TURKYILMAZ I, OZAN O, McGLUMPHY EA. **Reliability of implant placement with stereolithographic surgical guides generated from computer tomography clinical data from 94 implants.** J Periodontol 2008 ; 79 : 1339-1345.
59. D'HEASE J, VAN DE VELDE T, ELAUT L, DE BRUYN H. **A prospective study on the accuracy of mucosally supported stereolithographic surgical guides in fully edentulous maxillae.** Clin Implant Dent Relat Res 2009
60. AL-HARBI SA, SUN AY. **Implant placement accuracy when using stereolithographic template as a surgical guide : preliminary results.** Impl Dent 2009 ; 18 : 46-56.
61. FORTIN T, ISIDORI M, BOUCHET H. **Placement of posterior maxillary implants in partially edentulous patients with severe bone deficiency using CAD/CAM guidance to avoid sinus grafting: a clinical report of procedure.** Int J Oral Maxillofac Implants. 2009 Jan-Feb;24(1):96-102.
62. FORTIN T, CAMBY E, ALIK M, ISIDORI M, BOUCHET H. **Panoramic images versus three-dimensional planning software for oral implant planning in atrophied posterior maxillary: a clinical radiological study.** Clin Implant Dent Relat Res. 2013 Apr;15(2):198-204.
63. Arisan V, Karabuda CZ, Ozdemir T. **Implant surgery using bone- and mucosa-supported stereolithographic guides in totally edentulous jaws: surgical and post-operative outcomes of computer-aided vs standard techniques.** Clin Oral Implants Res. 2010 Sep;21(9):980-8.
64. KUHLMANN S, PAYER M, ZITZMANN N-U, LAMBRECHT J-T, FILIPPI A. **Technical accuracy of printed surgical templates for guided implant surgery with the coDiagnostiX™ software.** Clinical implant dentistry and related research. 2013.

65. NICKENIG HJ, WICHMANN M, HAMEL J, SCHLEGEL KA, EITNER S. **Evaluation of the difference in accuracy between implant placement by virtual planning data and surgical guide templates versus the conventional free-han method – a combined in vivo-in vitro technique using cone-beam CT (Part II).** J Craniomaxillofac Surg 2009.

66. NKENKA E, EITNER S, RADESPIEL-TROGER M, VAIDRAKTARIS E, NEUKAM FW, FENNER M. **Patient –centred outcome comparing transmucosal implant placement with an open approach in the maxilla : a prospective, non-randomized pilot study.** Clin Oral Impl Res 2007 ; 18 : 197-203. Int J Oral Maxillofac Implants. 2006 Mar-Apr;21(2):298-304.

67. FORTIN T, BOSSON JL, ISIDORI M, BLANCHET E. **Effect of flapless surgery on pain experienced in implant placement using an image-guided system.** Int J Oral Maxillofac Implants. 2006 Mar-Apr;21(2):298-304

68. COVANI U, CORNELINI R, BARONE A. **Vertical crestal bone changes around implants placed into fresh extraction sockets.** J Periodontol 2007 ; 78 : 810-815.

69. SCHROPP L, ISIDOR F. **Timing of implant placement relative to tooth extraction.** J Oral Rehabil 2008 ; 35 (suppl. 1) : 33-43.

70. ELI H, SCHWARTZ-ARAD D, BAHT R, BEN-TUVIM H. **Effect of anxiety on the experience of pain in implant insertion.** Clin Oral Impl Res 2003 ; 13 : 115-118.

71. MOLE C, GERARD H, MALLET JL, CHASSAGNE JF, MILLER N. **Implementing a new three-dimensional treatment algorithm of complex surfaces to applications in surgery.** Int J Oral Maxillofac Surg 1995 ; 53 (2) : 158-62.

72. HASSON J-N, HANSS J. **Guides chirurgicaux en implantologie : indications et limites.** Implantology DT Study Club, Vol.2, numéro 4, décembre 2014.

73. SCHNEIDER D, MARQUARDT P, ZWAHLEN M, JUNG RE. **A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template-based implant dentistry.** Clin Oral Implants Res 2009 ; 20 : 73-86.
74. HÄMMERLE CH, STONE P, JUNG RE, KAPOŠ T, BRODALA N. **Consensus statements and recommended clinical procedures regarding computer-assisted implant dentistry.** Int J Oral Maxillofac Implants 2009.