



HAL
open science

Guide chirurgical implantaire par stéréolithographie : planification numérique par le logiciel Blue Sky Plan® et impression 3D au cabinet dentaire

Maxime Larripa

► To cite this version:

Maxime Larripa. Guide chirurgical implantaire par stéréolithographie : planification numérique par le logiciel Blue Sky Plan® et impression 3D au cabinet dentaire. Chirurgie. 2018. dumas-01771535

HAL Id: dumas-01771535

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01771535>

Submitted on 19 Apr 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Bordeaux
Collège des Sciences de la Santé
UFR des Sciences Odontologiques

Année 2018

N°17

Thèse pour l'obtention du DIPLÔME d'ETAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par Maxime LARRIPA

Né le 13 Juillet 1990 à Bayonne (64)

Le 13 Mars 2018

**Guide chirurgical implantaire par stéréolithographie :
Planification numérique par le logiciel Blue Sky Plan® et
impression 3D au cabinet dentaire.**

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Julien BROTHIER

Membres du Jury

Président	M Sylvain CATROS	Professeur des Universités
Directeur	M Julien BROTHIER	Docteur en Chirurgie-Dentaire
Rapporteur	M Mathieu PITZ	Docteur en Chirurgie-Dentaire
Assesseur	M Johan SAMOT	Maître de Conférences des Universités
Invité	M Emmanuel D'INCAU	Maître de Conférences des Universités
Invitée	Mme Camille BOULE-MONTPEZAT	Assistante Hospitalo-Universitaire

UNIVERSITE DE BORDEAUX

Président M. TUNON DE LARA Manuel
Directeur de Collège des Sciences de la Santé M. PELLEGRIN Jean-Luc

COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE DES SCIENCES ODONTOLOGIQUES

Directrice Mme BERTRAND Caroline 58-01
Directrice Adjointe – Chargée de la Formation initiale Mme ORIEZ-PONS Dominique 58-01
Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche M. FRICAIN Jean-Christophe 57-01
Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales M. LASSERRE Jean-François 58-01

ENSEIGNANTS DE L'UFR

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme Caroline	BERTRAND	Prothèses	58-01
Mme Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Sylvain	CATROS	Chirurgie orale	57-01
Mme Véronique	DUPUIS	Prothèses	58-01
M. Bruno	ELLA NGUEMA	Fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux	58-01
M. Jean-Christophe	FRICAIN	Chirurgie orale	57-01

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme Elise	ARRIVÉ	Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale	56-02
Mme Cécile	BADET	Biologie orale	57-01
M. Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Michel	BARTALA	Prothèses	58-01
M. Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Christophe	BOU	Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale	56-02
Mme Sylvie	BRUNET	Chirurgie orale	57-01
M. Stéphane	CHAPENOIRE	Fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux	58-01
M. Jacques	COLAT PARROS	Fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux	58-01
M. Jean-Christophe	COUTANT	Fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux	58-01
M. François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M. Raphael	DEVILLARD	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
M. Emmanuel	D'INCAU	Prothèses	58-01
M. Dominique	GILLET	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
M. Jean-François	LASSERRE	Prothèses	58-01
M. Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme Odile	LAVIOLE	Prothèses	58-01
M. Jean-Marie	MARTEAU	Chirurgie orale	57-01
Mme Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01
M. Adrien	NAVEAU	Prothèses	58-01
Mme Dominique	ORIEZ	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01

M.	Jean-François	PELI	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
M.	Philippe	POISSON	Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale	56-02
M.	Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Johan	SAMOT	Biologie orale	57-01
Mme	Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mme	Noélie	THEBAUD	Biologie orale	57-01
M.	Eric	VACHEY	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01

ASSISTANTS

Mme	Audrey	AUSSEL	Fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux	58-01
M.	Wallid	BOUJEMAA AZZI	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
Melle	Camille	BOULÉ-MONTPEZAT	Odontologie pédiatrique	56-01
Melle	Anaïs	CAVARÉ	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Hubert	CHAUVEAU	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
M.	Mathieu	CONTREPOIS	Prothèses	58-01
M.	Jean-Baptiste	CULOT	Fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux	58-01
Mme	Clarisse	DE OLIVEIRA	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Cédric	FALLA	Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale	56-02
Mme	Mathilde	FENELON	Chirurgie orale	57-01
Mme	Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
Mme	Agathe	GREMARE	Biologie orale	57-01
Mme	Olivia	KEROUREDAN	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
M.	Adrien	LASTRADE	Prothèses	58-01
M.	Alexandre	MARILLAS	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
M.	Emmanuel	MASSON-REGNAULT	Chirurgie orale	57-01
Mme	Marie	MÉDIO	Orthopédie dento-faciale	56-01
Mme	Meryem	MESFIOUI	Parodontologie	57-01
Mme	Darrène	NGUYEN	Biologie orale	57-01
M.	Ali	NOUREDDINE	Prothèses	58-01
Mme	Chloé	PELOURDE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Antoine	PEPELUT	Parodontologie	57-01
Mme	Charlotte	RAGUENEAU	Prothèses	58-01
Mme	Noëlla	RAJONSON	Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale	56-02
M.	Clément	RIVES	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
M.	Thibaut	ROULLAND	Prothèses	58-01
M.	François	ROUZÉ L'ALZIT	Prothèses	58-01
Mme	Audrey	SAY LIANG FAT	Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale	56-02

À notre Président de thèse

Monsieur le Professeur Sylvain CATROS

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Sous section Chirurgie-Orale 57-01

Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider le jury de cette thèse. Je vous remercie pour votre gentillesse, votre disponibilité, ainsi que pour les enseignements que vous m'avez délivrés durant ma formation à Pellegrin.

Veillez trouver dans ce travail le témoignage de ma reconnaissance et de mon profond respect.

À notre Directeur de thèse

Monsieur le Docteur Julien BROTHIER

Ancien Assistant Hospitalo-Universitaire

Sous-section Prothèse dentaire 58-01

Je vous remercie sincèrement d'avoir accepté de diriger cette thèse. Le temps que vous avez passé à m'aider que ce soit en clinique ou lors de la réalisation de ce travail m'a été très précieux .

Veillez trouver dans ce travail l'expression de ma plus grande gratitude et de mon plus grand respect.

À notre Rapporteur de thèse

Monsieur le Dr Mathieu PITZ

Ancien Assistant Hospitalo-Universitaire
Sous-section Parodontologie 57-01

*Je vous remercie d'avoir accepté de corriger ce travail. Je vous remercie pour votre aide et votre disponibilité, ainsi que pour l'enseignement que vous m'avez apporté en clinique.
Veuillez trouver ici toute l'expression de ma reconnaissance.*

À notre Assesseur

Monsieur le Docteur Emmanuel D'INCAU

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section Prothèse dentaire 58-01

*Je vous remercie d'avoir accepté de participer à ce jury de thèse. Ce travail est l'occasion de vous remercier pour la qualité de vos enseignements et pour la sympathie dont vous avez fait preuve au cours de nos études d'odontologie.
Je sais que nos chemins se recroiseront et j'en suis ravi.
Acceptez ma reconnaissance et mes remerciements les plus sincères.*

À notre membre du jury

Monsieur le Docteur Johan SAMOT

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
Sous section Biologie-Orale 57-01

Je tiens tout d'abord à souligner l'incroyable patience dont vous avez fait preuve avec nous lors de nos années en clinique. Vous avez su nous transmettre l'amour de notre profession, votre savoir et votre passion, toujours avec bienveillance et bonne humeur.

Je vous remercie sincèrement d'avoir accepté de faire partie de ce jury.

À notre membre du jury

Mademoiselle le Dr Camille BOULE-MONTPEZAT

Assistante Hospitalo-Universitaire
Sous section Odontologie Pédiatrique 58-01

Je vous remercie d'avoir accepté de participer à ce jury de thèse.

Je vous remercie infiniment pour votre gentillesse et votre désir de partager vos connaissances.

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

A ma famille et mes amis, grâce à qui j'ai la chance d'avoir une vie formidable.
Je ne vous remercierai jamais assez.

I.Introduction	9
II. Rappels techniques	12
II.1 L'impression 3D: les différentes techniques (6,7)	12
II.1.1 L'impression par dépôt de matière fondue/ FDM	14
II.1.2 La technique PolyJet	16
II.1.3 La Stéréolithographie	17
II.1.4 Procédé DLP	19
II.1.5 Frittage sélectif par laser FSL/SLS	20
II.2 Les matériaux d'impression	21
II.2.1 Les plastiques	21
II.2.1.1 L' ABS (Acrylonate Butadiène Styène) (C ₈ H ₈ ·C ₄ H ₆ ·C ₃ H ₃ N) _n	21
II.2.1.2 Le PLA (Acide Polylactique) (C ₃ H ₄ O ₂) _n	22
II.2.1.3 Le PET (Polytéréphlate d'éthylène)(C ₁₀ H ₈ O ₄) _n	22
II.2.2 La résine	22
II.2.2.1 La résine: mélange d'acide méthacrylique et de photoinitiateur.	22
II.2.3 Le nylon(polyamide) $[-(C=O)(CH_2)_6-C(=O)-NH-(CH_2)_6-NH-]_n$	22
II.2.4 Les métaux	23
II.2.4.1 L'Aluminium	23
II.2.4.2 L'Acier	23
II.2.4.3 Le Cobalt Chrome	23
II.2.4.4 Le Titane (Ti6Al 4V)	23
II.2.4 Les matériaux organiques	23
III.Planification numérique et Chirurgie implanto-guidée	25
III.1 La planification numérique (11,12,13)	26
III.1.1 Historique	26
III.2 Protocole:	28
III.3 Les guides chirurgicaux (28)	37
III.3.1 Les guides non contraignant:	37
III.3.2 Les guides semi contraignant :	37
III.3.3 Les guides contraignants (full guided):	37
III.3.4 Les guides chirurgicaux à appuis dentaire:	38
III.3.5 Les guides chirurgicaux à appuis muqueux:	38
III.3.6 Les guides chirurgicaux à appuis osseux:	39
IV. Matériel et méthodes:	48
V.Cas Cliniques	50
V.1 Cas Clinique n°1	50
V.2 Cas clinique N°2	54
V.3 Cas Clinique n°3	57
VI. Discussion sur la chirurgie guidée et les systèmes d'impression 3D	61

VII. Conclusion	63
VIII. Bibliographie	64
IX. Annexe	71

I.Introduction

De nos jours la solution implantaire en prothèse fixe ou amovible, unitaire ou plurale, en secteur postérieur ou esthétique est devenue incontournable. Une demande croissante de ces interventions a été constatée, nous sommes passés de 50 000-60 000 implants en 2000 à 400 000 en 2012 pour atteindre 600 000 selon les estimations en 2015 (1,2). Un tel engouement souligne à quel point l'implantologie relève d'une véritable révolution dans notre arsenal thérapeutique.

De nombreux protocoles chirurgicaux et prothétiques ont déjà été décrits pour mener à bien un plan de traitement implantaire.

Le monde de la chirurgie dentaire profite très largement des différentes avancées technologiques et notamment de la révolution CAD/CAM.

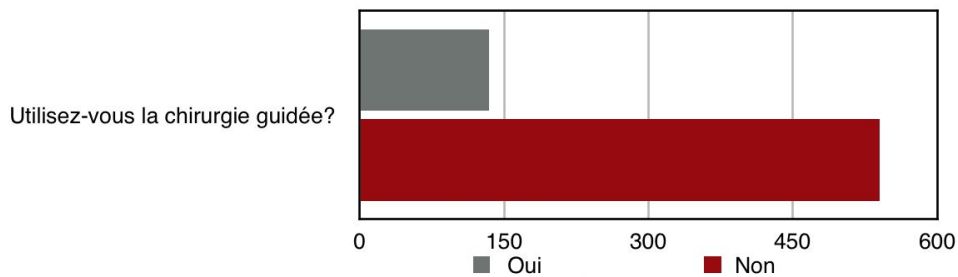
Nous avons d'une part l'évolution de l'imagerie médicale avec l'acquisition des données anatomiques 3D au format DICOM, d'autre part, les avancées du numérique avec l'obtention de fichiers 3D STL issus d'une empreinte optique en bouche ou de la numérisation d'une empreinte conventionnelle ou d'un modèle dans un scanner de table. La superposition de l'ensemble de ces données permet une planification implantaire en 3D aux démarches claires, nous guidant étapes par étapes tout au long de la prise en charge de notre patient.

Le but final de cette démarche numérique est la réalisation d'un guide chirurgical assurant une adéquation entre le positionnement virtuel des implants établi sur ordinateur et celui réalisé en bouche lors de l'acte chirurgical.

Différentes machines outils vont permettre son élaboration néanmoins, une nouvelle révolution technologique, l'impression 3D, va rendre son accès encore plus facile.

Malgré les avantages avancés, de nombreux confrères restent encore à l'écart de ces techniques.

Suite à une étude réalisée par le Dr Norbert COHEN (3) en Novembre 2015 sur une population de 674 praticiens réalisant des chirurgies implantaires en pratique dite quotidienne, il nous est apparu que 80,1% des praticiens interrogés n'avaient pas recours à la chirurgie guidée. Reste à savoir si cela traduit un simple manque d'intérêt des praticiens ou des défauts inhérents à cette pratique.



Utilisez-vous la chirurgie guidée? (Figure 1)

Le Dr VERMEULEN a lui réalisé une étude portant sur 10 praticiens expérimentés, c'est à dire ayant plus de 10 ans de pratique de l'implantologie avec entre 300 et 1000 implants par an(4). Le but étant de comparer le placement d'implants à main levée et par chirurgie guidée avec une planification initiale. Les données recueillies portaient sur la latéralité du positionnement, la profondeur et l'angle. Une position globale mesurée en a été déduite et on retrouve un rapport de 1 à 2 toujours en faveur de la chirurgie guidée (0,91mm pour 1,55mm à main levée). Une étude réalisée en 2015 (5) sur des mâchoires de porcs par un groupe de chirurgiens expérimentés dans le domaine implantaire, réalisant leur chirurgie à main levée, et des étudiants en 3eme années ayant eux le soutien d'un guide chirurgical a montré une absence de différence significative entre ces deux groupes vis à vis d'une planification pré-opératoire similaire. Ainsi donc il semblerait que l'efficacité d'une telle pratique puisse être confirmée.

De plus, ce n'est pas non plus un refus de s'équiper avec les nouveaux appareils à notre disposition car, toujours selon l'étude du Dr COHEN, 76,2% du panel interrogé sur la question « Avez-vous fait l'acquisition d'un cône beam? » ont répondu par l'affirmative (41,6%) ou projetaient à court ou moyen terme d'en acquérir un.

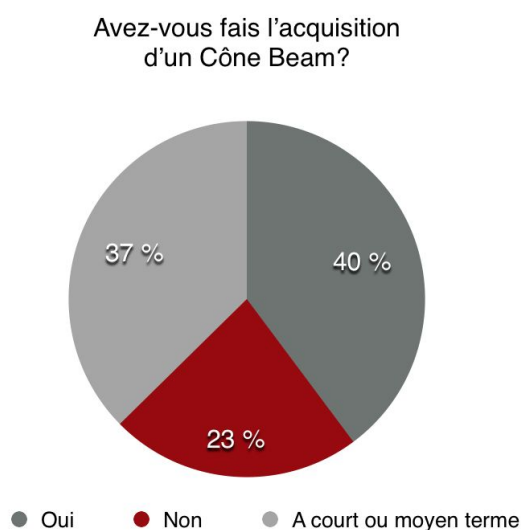
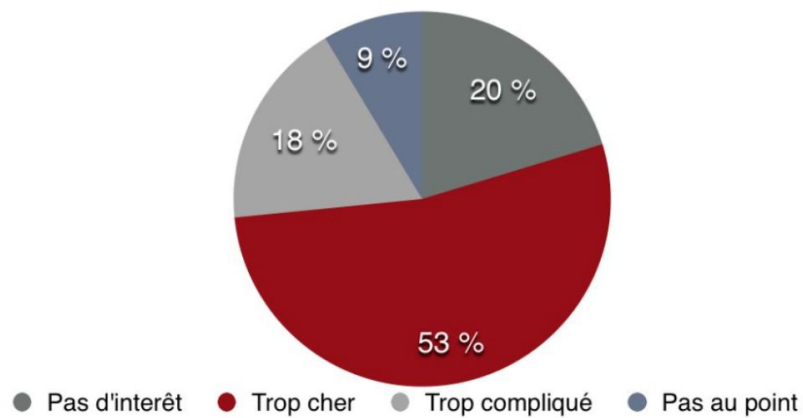


Figure 2

Ce qui est en revanche très intéressant, c'est de voir les arguments qui vont à l'encontre de l'utilisation de la chirurgie guidée.

Dans le cas de ces deux études le premier d'entre eux est le coût financier, loin devant les autres préoccupations (53,2% des réponses).

Deuxième argument avancé, le délai entre la conception du guide et sa réception.



Principaux freins à l'utilisation des guides chirurgicaux (Figure 3)

Tout au long de cette thèse, nous présenterons un protocole simple de planification numérique et conception du guide chirurgical sur ordinateur et fabrication de ce guide par impression 3D stéréolithographique.

Pour y arriver, les concepts d'impression 3D et de guide chirurgical seront expliqués puis transposés dans des applications pratiques lors de trois cas cliniques.

II. Rappels techniques

II.1 L'impression 3D: les différentes techniques (6,7)

L'impression 3D consiste à la fabrication d'un objet par additions successives de couches de matériau. Elle s'oppose aux technologies soustractives d'usinage.

Il existe différentes technologies, chacune ayant ses avantages, inconvénients et indications.

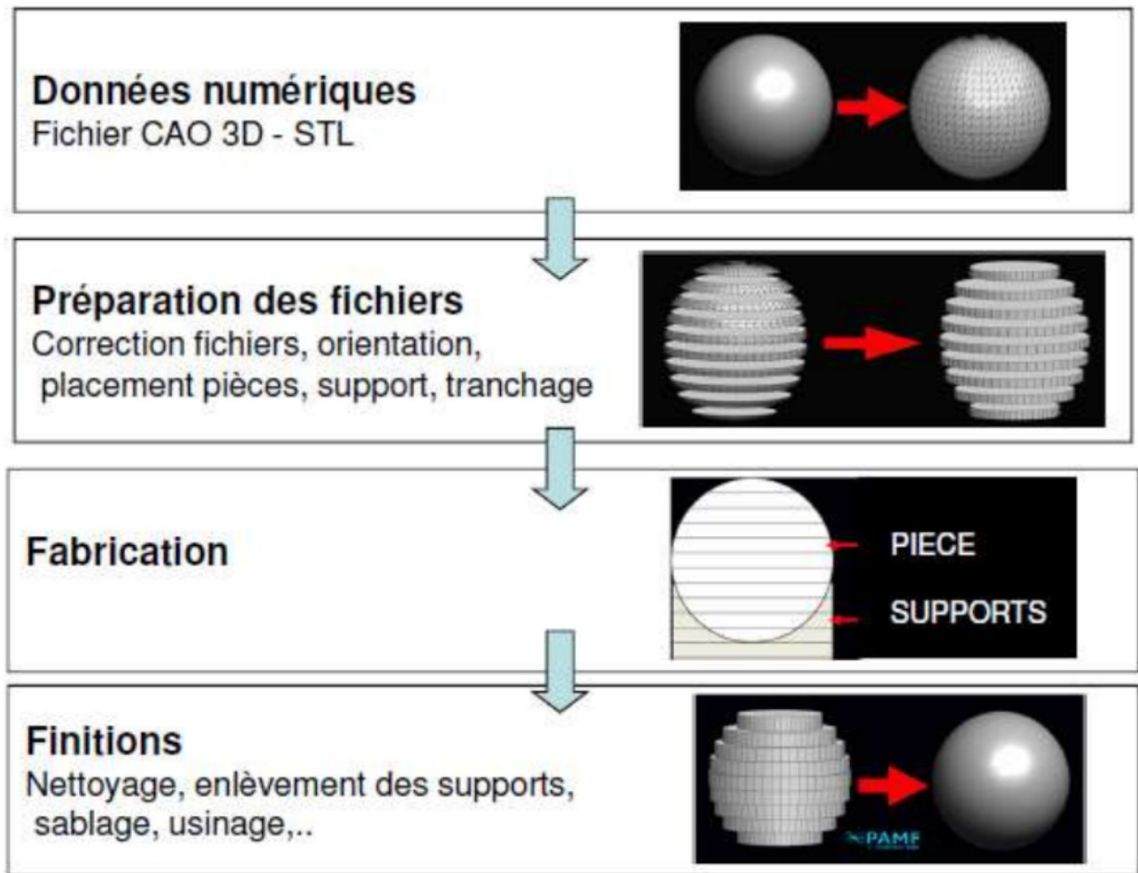
L'avantage évident de la technologie additive par opposition à l'usinage est que seule la quantité de matière nécessaire à la production d'un objet va être utilisée, supprimant de fait la perte de matériau. Cela induit un coût de production plus faible.

Tout dispositif médical utilisé dans le cadre des soins dentaires doit répondre aux normes européennes:

«Tout dispositif fabriqué expressément suivant l'ordonnance de toute personne habilité par la législation nationale en vertu de ses qualifications professionnelles, indiquant, sous sa responsabilité, les caractéristiques de conception spécifiques, et destiné à n'être utilisé que pour un patient déterminé et exclusivement en réponse aux besoins et à l'état de santé de ce patient.»(Annexe XI du Parlement Européen). Cela ne concerne que l'autorisation d'utilisation d'un dispositif médical, d'autres réglementations vont s'appliquer pour ce qui est de l'impression 3D de tels dispositifs.

Avant d'aborder les différents types d'impression 3D, il faut comprendre que le fichier contenant les informations relatives à l'objet à imprimer doit être sous un certain format, le STL.

Il s'agit d'un nuage de points reliés entre eux créant un maillage. Ce fichier 3D va être traité par le logiciel d'impression en le corrigeant, l'orientant, le découpant en couches et en lui ajoutant si nécessaire des supports .



Conversion des données numériques en données utilisables pour l'impression 3D

(Figure 4)

II.1.1 L'impression par dépôt de matière fondue/ FDM

L'appellation FDM vient de sa traduction anglaise : Fused Deposition Modeling. Inventée à la fin des années 80 par Scott Crump, fondateur de Stratasys, une des compagnies leader sur le marché des imprimantes 3D par FDM.

L'imprimante va devoir se mettre à température (200°C environ) afin de pouvoir faire entrer en fusion le matériau. Celui-ci, généralement sous forme de filaments, va donc être chauffé et va être déposé sous forme plastique sur un plateau support.

Entre chaque couches préalablement définies par le slicer, le support va s'abaisser afin de permettre la mise en place de la couche suivante.

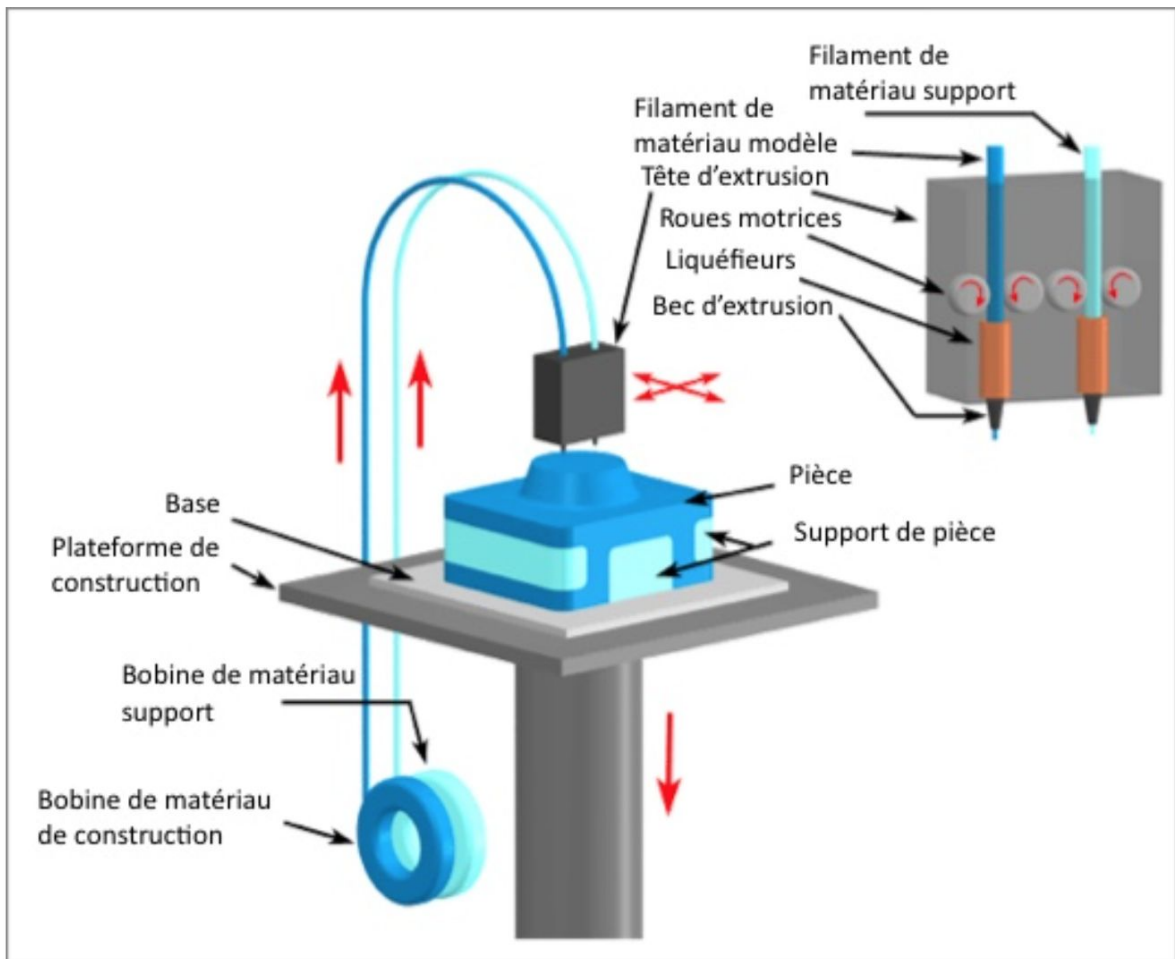
Le « fil » déposé possède un diamètre approchant généralement 0,1mm pouvant aller jusqu'à 0,04mm ce qui permet une précision tout à fait compatible avec notre utilisation.

La vitesse de production de ces imprimantes est relativement élevée et en fait donc une technique de choix. Néanmoins, l'utilisation sera optimale pour l'impression de pièce unique ou en nombre limité. De plus, le gain de temps se fait généralement au détriment de la précision, surtout dans le cas des imprimantes à paramétrer soi-même .

De plus, il faut souligner que l'aspect de surface final est généralement peu satisfaisant.

Si aujourd'hui de nombreux composants sont utilisables pour ce genre d'imprimante (plastiques de type ABS ou PLA), aucun ne satisfait la réglementation européenne quant à la biocompatibilité nécessaire pour l'utilisation d'un dispositif médical en bouche comme ici un guide chirurgical.

Il existe une grande gamme de prix et de qualité pour les produits utilisant ce procédé, que ce soit au niveau de l'imprimante ou des matériaux utilisés.



La technique FDM (Figure 5)

II.1.2 La technique PolyJet

C'est la technique qui se rapproche aujourd'hui le plus de l'impression par jet d'encre classique que nous connaissons tous. Elle combine la technique d'InkJet et l'utilisation de photopolymères.

Les têtes d'impressions possèdent chacune plusieurs dizaines d'embouts qui projettent des mini-gouttelettes de matière sur une plateforme. A chaque projection, une lumière ultraviolette est alors émise et vient polymériser la matière.

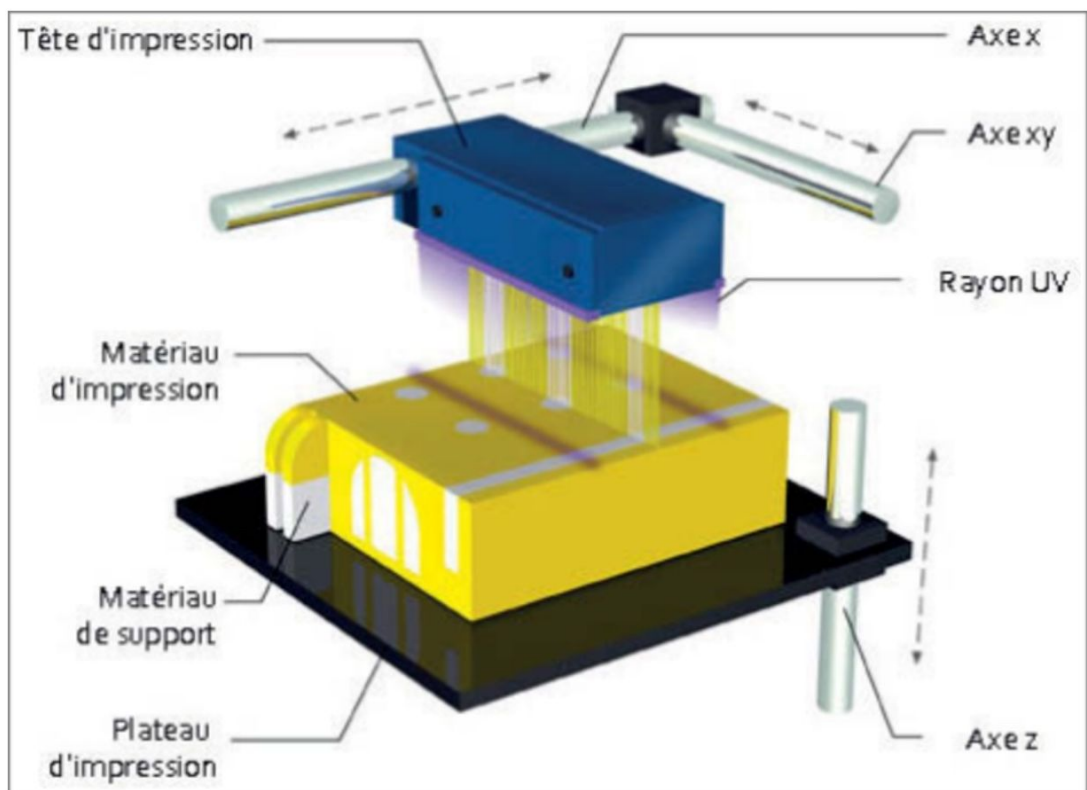
Le phénomène se répète autant de fois que de couches préalablement définies par le logiciel de découpage.

Cette technique présente de nombreux avantages:

- une excellente précision (allant jusqu'à 0,016mm)
- un aspect de surface lisse, contrairement à un effet en escalier que l'on peut parfois retrouver au niveau de la technique par FDM
- de nombreux matériaux utilisables (plus de 120)

Le gros frein reste toujours son coût et son encombrement, par exemple, la Stratasys Object 500 sortie en 2014 coûte 244 000 euros et pèse 430 kg

La technique PolyJet (Figure 6)



II.1.3 La Stéréolithographie

La Stéréolithographie ou SLA (pour StéréoLithographie Apparatus), a débuté en 1984 grâce aux travaux de Charles W. HULL aux Etats-Unis.

Là encore, un fichier .STL issue d'une planification sera nécessaire mais contrairement à la technique FDM, un socle et des attaches provisoires seront prévus pour éviter toute bascule de l'objet imprimé.

Le grand principe sur lequel repose cette technique est celui de la photopolymérisation couche par couche d'un polymère par un faisceau laser UV piloté par ordinateur.

Les composants liquides sont généralement un monomère acrylate ou époxy, jumelé à un photoinitiateur qui permet cette photopolymérisation.

L'imprimante est composée :

- d'un bac où se trouvent les composants liquides cités plus haut,
- d'une plateforme horizontale mobile verticalement, qui va servir de support au modèle en cours de réalisation.
- d'un laser couplé à deux déflecteurs permettant d'orienter le faisceau.

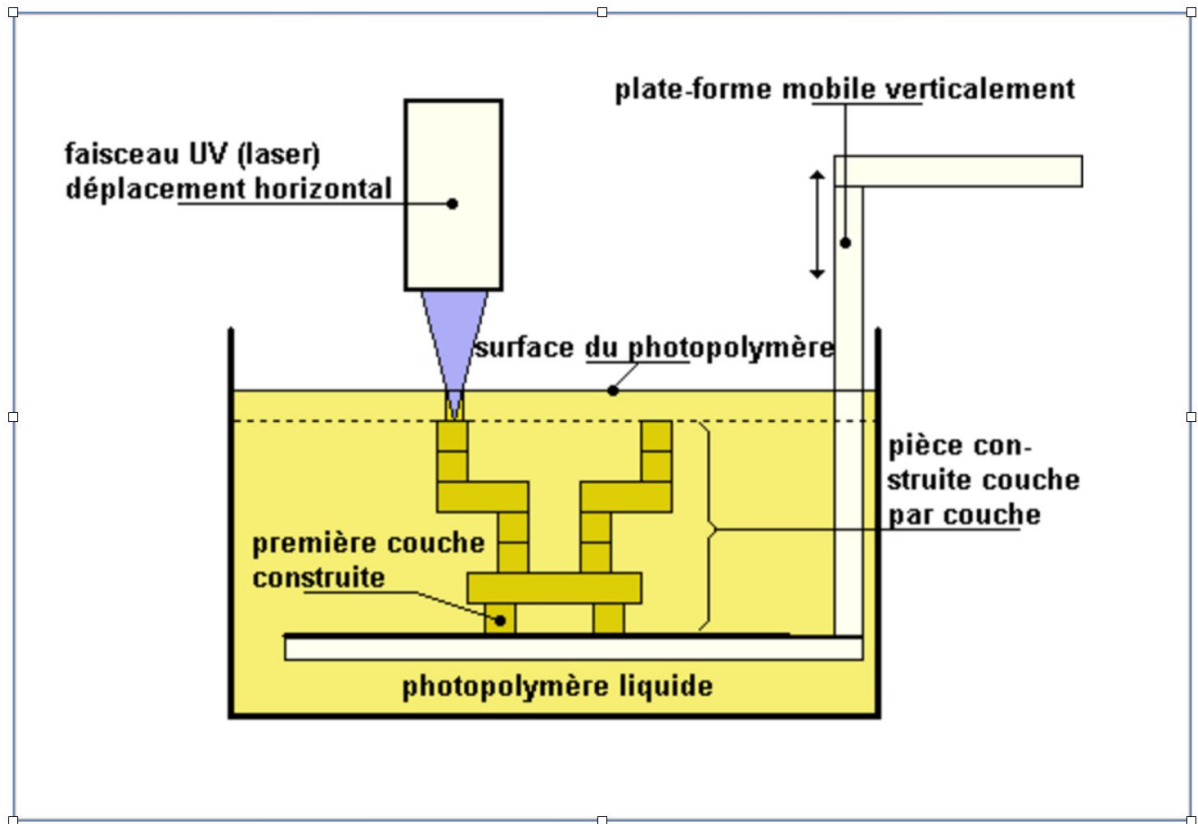
L'un des grands avantages de cette technique est son accessibilité de par sa diffusion et de son prix attractif.

Aujourd'hui les prix des consommables et de l'imprimante en eux-mêmes restent très abordables et ne nécessitent que peu de place dans un cabinet.

Cependant, l'utilisation de supports est indispensable pour éviter la polymérisation de couches de matériau non soutenues lors de l'impression.

L'impression par SLA s'avère malheureusement assez lente car réalisée point par point. En fonction de la pièce à imprimer, la moyenne reste de 1 à 2 min par tranche, pour une moyenne de 3h pour un guide de deux implants.

Cette technique est limitée à la production de quelques pièces uniquement et non à une production de masse, ce qui ne présente pas un problème pour l'utilisation que nous souhaitons en faire.



Technique de la Stéréolithographie (Figure 7)

II.1.4 Procédé DLP

Le terme DLP nous vient de « Digital Light Processing » et va aussi reposer sur l'utilisation de polymères sensibles à l'exposition de la lumière.

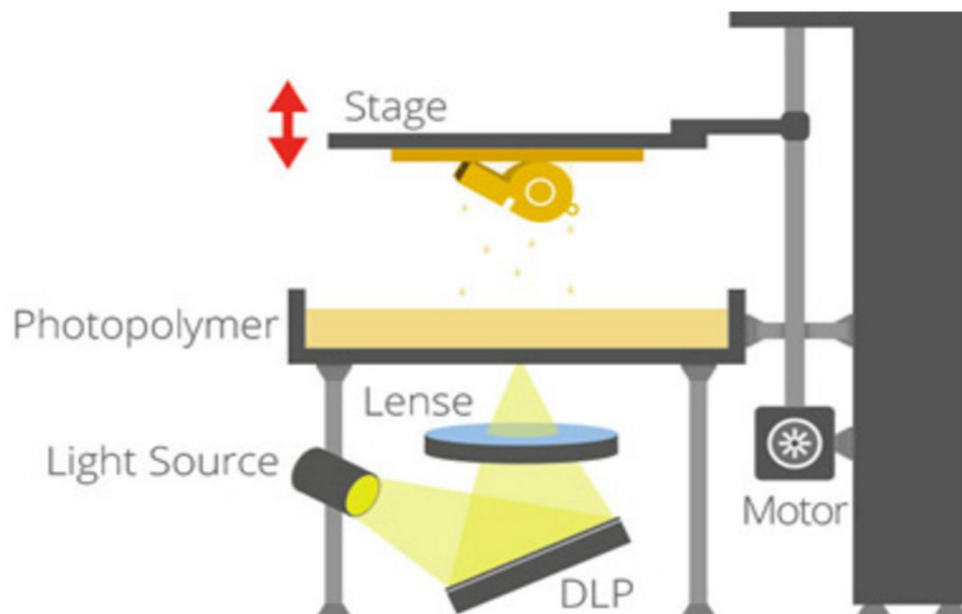
La grande différence entre le procédé DLP et la stéréolithographie vient de la répartition lumineuse. Dans le cas de la DLP, une puce contenant jusqu'à deux millions de miroirs orientables va émettre des UV reproduisant la forme complète de la couche à photopolymériser.

On retrouve ce fonctionnement avec les projecteurs comme ceux utilisés en salle de conférence, les UV étant alors remplacés par l'image à émettre. Ces derniers ne sont plus produits par un laser mais par une ampoule.

On retrouve donc ici les principes de la stéréolithographie et tous les avantages de cette dernière avec en plus un gain de temps considérable. En effet ce procédé est de deux à cinq fois plus rapide.

Le principal problème pour nous de cette technique reste son coût. La gamme de prix de ces imprimantes est bien supérieure à celle des imprimantes 3D par stéréolithographie.

Également, le volume du plateau support est très inférieur et cela implique la fabrication de pièces de petit volume.



Principe de la DLP (Figure 8)

II.1.5 Frittage sélectif par laser FSL/SLS

Développé par le Dr Carl Deckard au milieu des années 80.

Le matériau d'impression ici utilisé est sous forme de poudre.

Cette poudre est constituée d'un alliage ou de nylon selon ce que l'on désire imprimer.

Cette poudre va, sous l'effet d'un laser à CO₂, être portée à température de fusion en des points très précis préalablement définis par une planification numérique.

Ici, nous ne trouverons pas une cuve contenant le matériau d'impression mais une surface plane comportant plusieurs compartiments.

Le premier compartiment est rempli de notre poudre nécessaire à la fabrication de l'objet préalablement « *designé* ».

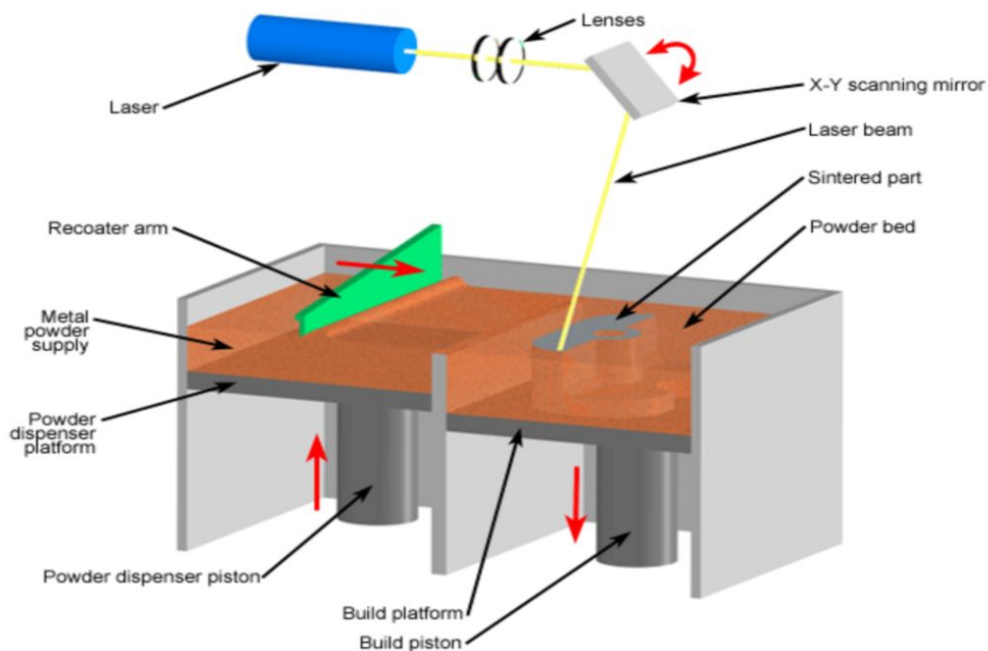
A côté se trouve un compartiment qui est lui vide.

Tous les deux sont montés sur des pistons qui vont avoir une action opposée.

Tandis que le compartiment contenant la poudre va s'élever, un rouleau va venir mécaniquement déplacer une fine couche de poudre et la placer dans le deuxième compartiment qui sera lui balayé par le rayon du laser et permettre la fusion.

Le deuxième compartiment va alors s'abaisser d'une hauteur correspondant à l'épaisseur de la prochaine couche à fusionner, le rouleau reprendre sa place initiale et le compartiment va s'élever d'une hauteur suffisante pour permettre un prélèvement adéquat de poudre par le rouleau.

Les étapes sont ensuite répétées jusqu'à l'obtention de l'objet en 3D.



Technique d'impression 3D par FSL/SLS (Figure 9)

II.2 Les matériaux d'impression

II.2.1 Les plastiques

A ce jour, les plastiques restent les matériaux les plus utilisés. On en distingue plusieurs familles:

II.2.1.1 L' ABS (Acrylonate Butadiène Styène) $(C_3H_2 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$

Il est aujourd'hui le matériau le plus utilisé à l'aide des imprimantes dites «personnelles».

Ce matériau fond entre 200 et 250° et peut subir, sans altération, des températures de -20° à 80°. Il possède une bonne résistance aux chocs du fait de la structure de polybutadiène qui lui confie les propriétés d'un élastomère, ainsi qu'un aspect lisse et brillant. Disponible en de nombreuses couleurs.

Principalement utilisé en technique FDM sous forme de bobines, on retrouve néanmoins des simili ABS utilisés en stéréolithographie qui sont alors sous forme de polymères liquides ou dans la technique PolyJet.

L'ABS est déjà couramment utilisé dans notre quotidien pour la fabrication de nos téléphones, ordinateurs, jouets, le meilleur exemple étant encore les briques LEGO®.



Bobines d'ABS (Figure 10)

II.2.1.2 Le PLA (Acide Polylactique) (C₃H₄O₂)_n

Il possède lui une température de fusion comprise entre 160° et 220°C, plus difficile à manipuler que l'ABS car il refroidit et durcit beaucoup plus rapidement.
Son gros avantage réside dans son moyen de production issu de l'amidon de maïs.
Il est biodégradable et compostable mais son plus gros inconvénient est qu'il est sensible à l'eau.

II.2.1.3 Le PET (Polytéréphlate d'éthylène)(C₁₀H₈O₄)_n

C'est lui un matériau plus récent issu de la pétrochimie.
Sa température de fusion est elle de 220° et est plus résistant que l'ABS tout en gardant une certaine flexibilité.
Il est disponible sous forme de bobines.

II.2.2 La résine

II.2.2.1 La résine: mélange d'acide méthacrylique et de photoinitiateur.

Toujours sous forme liquide, elles sont donc parfaitement adaptées pour une utilisation dans le cadre de la SLA, DLP ou PolyJet.
Elles sont nombreuses et de toutes les qualités mais généralement suffisantes en termes de précision pour des modèles ne dépassant pas 100mm/100mm/100mm.
Elles sont toutes vendues dans des récipients opaques.
Pour notre usage, un matériau dénommé Dental SG, biocompatible de classe 1.

II.2.3 Le nylon(polyamide) [-(C=O)(CH₂)₆-C(=O)-NH-(CH₂)₆-NH-]_n

Le nylon fut breveté en 1938, et sa première application industrielle a été, la même année, la commercialisation d'une brosse à dent. En 1940 sortaient les bas pour femmes et en 1941 la toile de parachute.
Son intérêt réside tout particulièrement dans ses propriétés de légèreté, solidité accompagnée d'une certaine flexibilité le rendant moins susceptible à la fracture.
Matériau imprimable depuis peu, EADS présentait en mars 2011 le premier vélo imprimé intégralement en Nylon, il est aujourd'hui accessible à l'ensemble des professionnels grâce à la commercialisation de l'imprimante Fuse1 par FormLabs.
Cette imprimante s'appuie sur un système d'impression FLS.

II.2.4 Les métaux

L'ensemble de ces matériaux seront utilisés dans le cadre de la technique de FSL décrite plus haut.

II.2.4.1 L'Aluminium

Généralement sous forme d'alliage avec du Silicium et du Magnésium. Cet alliage offre une résistance et une légèreté très utile dans l'industrie aérodynamique.

II.2.4.2 L'Acier

Sous sa forme inoxydable il est connu sous le nom d'Inox et est le composant le plus utilisé à travers le monde au niveau industriel. Les réductions de consommation de matières premières inhérentes à l'impression 3D permettent une réduction des coûts tout en augmentant la précision des pièces produites.

II.2.4.3 Le Cobalt Chrome

Un alliage bien connu des prothésistes dentaires.

II.2.4.4 Le Titane (Ti6Al 4V)

Autre alliage à usage dentaire.

II.2.4 Les matériaux organiques

Autre révolution, il est dorénavant possible d'utiliser les cires, le bois, les matières alimentaires mais le futur tient surtout dans la production de tissus biologiques spécifiques aux patients.

Des cellules, souches ou non, sont injectées et déposées et agencées au sein d'un gel. La difficulté réside encore dans la mise en place d'un réseau d'irrigation sanguine permettant l'apport de nutriments, d'oxygène et l'élimination des déchets mais à terme nous pourrions produire n'importe quel organe et résoudre les problèmes de greffes.



Impression d'aluminium et de plastique ABS
(Figure 11)



Oreille humaine imprimée en 3D
(Figure 12)

III. Planification numérique et Chirurgie implanto-guidée

Le but de la chirurgie implantaire à ses débuts était de fournir de futurs piliers prothétiques pour une prothèse dont la nature était définie (fixe ou amovible) mais dont la conception était uniquement prise en compte dans un second temps. La nécessité d'une réussite de la chirurgie prévalant sur les contraintes de la future prothèse.

L'os était et reste l'élément primordial en implantologie, son volume et sa qualité se devant d'être suffisants pour permettre la mise en place de l'implant et son intégrité dans le temps.

Seulement, si il est intéressant d'obtenir des piliers et qu'une bonne ostéo-intégration est indispensable, elle n'est pas suffisante pour atteindre le succès thérapeutique à proprement parler. Le praticien pouvait obtenir des implants parfaitement posés d'un point de vue chirurgical mais inexploitable d'un point de vue prothétique.

Ainsi donc, très vite, la nécessité de se projeter et de réaliser une approche plus globale de l'implantologie a semblé obligatoire. La seule qualité du site d'implantation au niveau osseux n'étant plus un argument suffisant pour prendre la décision d'y placer nos implants.

Un nouveau concept voit le jour: « Crown-to-bone » (8): c'est dorénavant la future prothèse qui va guider la chirurgie.

Il faut ajouter à cela les éléments anatomiques à éviter lors de la chirurgie:

Au maxillaire:

- le sinus maxillaire
- les cavités nasales
- l'artère alvéolaire postéro-supérieure
- l'artère palatine descendante
- l'artère infra-orbitaire
- l'artère sphéno-palatine
- le foramen incisif

A la mandibule: (9)

- le nerf alvéolaire inférieur et ses ramifications: nerf incisif et mentonnier
- le nerf lingual
- l'artère sous-mentale
- l'artère sublinguale
- l'artère alvéolaire inférieure.

Pour nous aider dans cette tâche nous pouvons aujourd'hui compter sur l'outil numérique. Sous l'appellation IAO (Implantologie Assistée par Ordinateur) se retrouve l'ensemble des nouveaux moyens à notre disposition, que ce soit au niveau des appareils de radiologie, des logiciels de planification et les machines outils tels que les usineuses.(10)

Dorénavant, l'imprimante 3D va pouvoir elle aussi venir s'inscrire dans cet univers.

L'outil clé de cette planification va être le guide chirurgical qui en découle et qui va permettre le véritable transfert de la planification numérique en bouche .

III.1 La planification numérique (11,12,13)

III.1.1 Historique

Au début des années 90, plusieurs équipes se sont penchées sur le problème de la planification du patient à implanter via le recueil de données du scanner. Ce qui semblait être un projet lointain à l'époque va connaître un essor fulgurant grâce à l'explosion de l'informatique d'une part, et les progrès de l'imagerie médicale d'autre part (11).

Avant la démocratisation du scanner et du Cone beam, sans parler des moyens numériques, les moyens de planifications étaient réduits à l'utilisation de radios panoramiques couplées à des rétro-alvéolaires(12).

Le biais majeur était le phénomène de distorsion allant de 1,3 à 1,7 selon l'opérateur et l'appareil radio utilisé pour les panoramiques(13). Cette distorsion s'explique par le passage d'un volume en 3D sur un format 2D.

Vint ensuite la planification pré-numérique qui reposait sur l'utilisation de calques superposés aux coupes du scanner, divisant l'espace buccal en clichés horizontaux se succédant permettant ainsi de choisir la longueur, le diamètre et l'inclinaison du ou des implants mais aussi d'établir la localisation des différentes contraintes anatomiques (nerf alvéolaire inférieur, sinus maxillaire...). Les calques étaient fournis par les différentes compagnies d'implants. L'amélioration de la précision était bien entendu non négligeable mais l'avènement de l'ordinateur allait permettre de révolutionner ce domaine.

Dans les années 90, des logiciels vont être développés pour permettre le recueil des données acquises par le scanner et de les retransmettre en 3D sur ordinateur.

Les maxillaires vont alors être visibles dans leur intégralité et en 3D(14). C'est la création du format DICOM (Digital imaging and communications in medicine) qui va rendre cela possible. Il n'y avait alors qu'un pas à faire pour pouvoir effectuer l'ensemble de la planification sur l'ordinateur.

Aujourd'hui, le positionnement des implants, leur taille, leur angulation et le projet prothétique les accompagnant sont réalisables via des logiciels(Nobel Clinician, CoDiagnostix, Simplant, Blue Sky Plan...)(15).

L'IAO va nous permettre de réaliser une planification implantaire de haute précision anticipant simultanément les difficultés éventuelles posées par la ou les futures prothèse(s)(16).

Objectifs de la planification:

Une planification précise va chercher à:

- déterminer le ou les sites implantaires
- choisir la longueur, le diamètre, et le type d'implant que l'on souhaite utiliser.
- déterminer son positionnement dans les trois dimensions(17).

Dans le cadre de notre thèse nous avons utilisé le logiciel Blue Sky Plan .

En pré-requis à l'utilisation de notre logiciel il est nécessaire d'avoir réalisé le scanner du patient.

III.2 Protocole:

Après avoir obtenu le scanner du patient sous format DICOM il va nous falloir réaliser notre planification afin de pouvoir imprimer notre guide chirurgical.

A noter que l'imagerie tridimensionnelle est le meilleur examen radiologique pour réaliser une analyse morphologique et qualitative de l'os résiduel(18).

Nous allons donc voir les différentes étapes de la réalisation numérique du guide chirurgical par le praticien lui-même à son cabinet. Ces étapes sont communes à l'ensemble des logiciels de planification numérique.

1) Importation de données DICOM

Les fichiers DICOM récupérés suite à l'examen chez un radiologue vont devoir être importé dans le logiciel.

2) Définition de la zone d'intérêt

Un scanner comprend bien entendu des informations très précises mais surtout une surface d'examen parfois trop étendue au vue de la zone de travail qui nous concerne.

Il nous faut donc définir celle-ci dans les trois plans de l'espace.

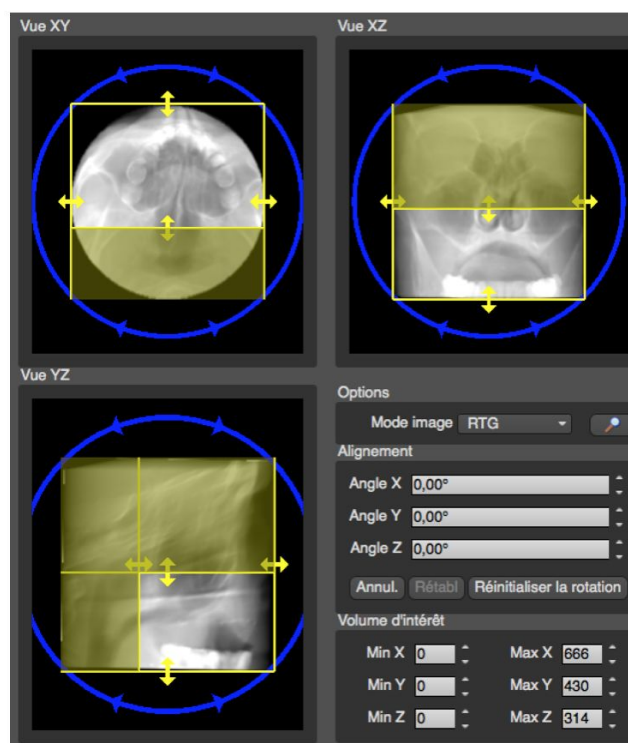
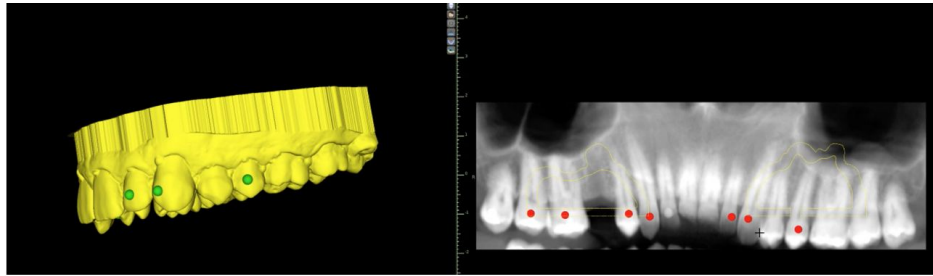


Figure 13

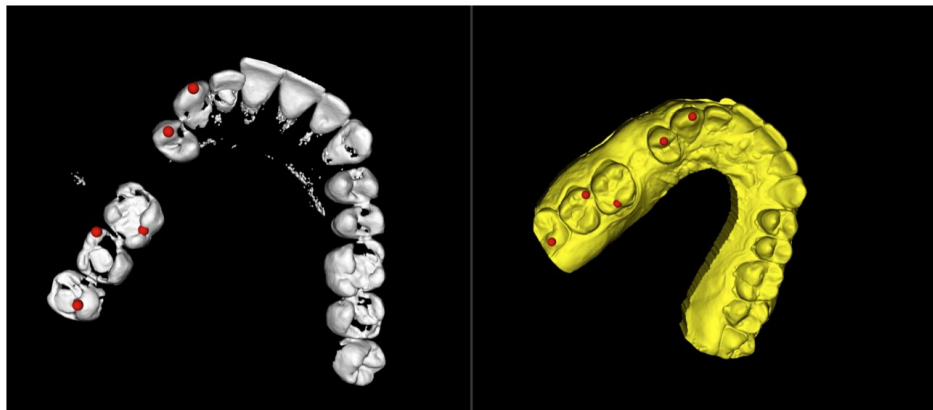
3) Importation des données STL et « Matching ».

Issu d'une empreinte optique en bouche ou d'une numérisation dans un scanner de table, plusieurs fichiers STL peuvent être importés au projet implantaire: arcades édentées, wax-up.

Le matching consiste à superposer les données STL aux données DICOM. Il existe plusieurs méthodes pour réaliser la superposition: point par point, dent par dent ou automatique.



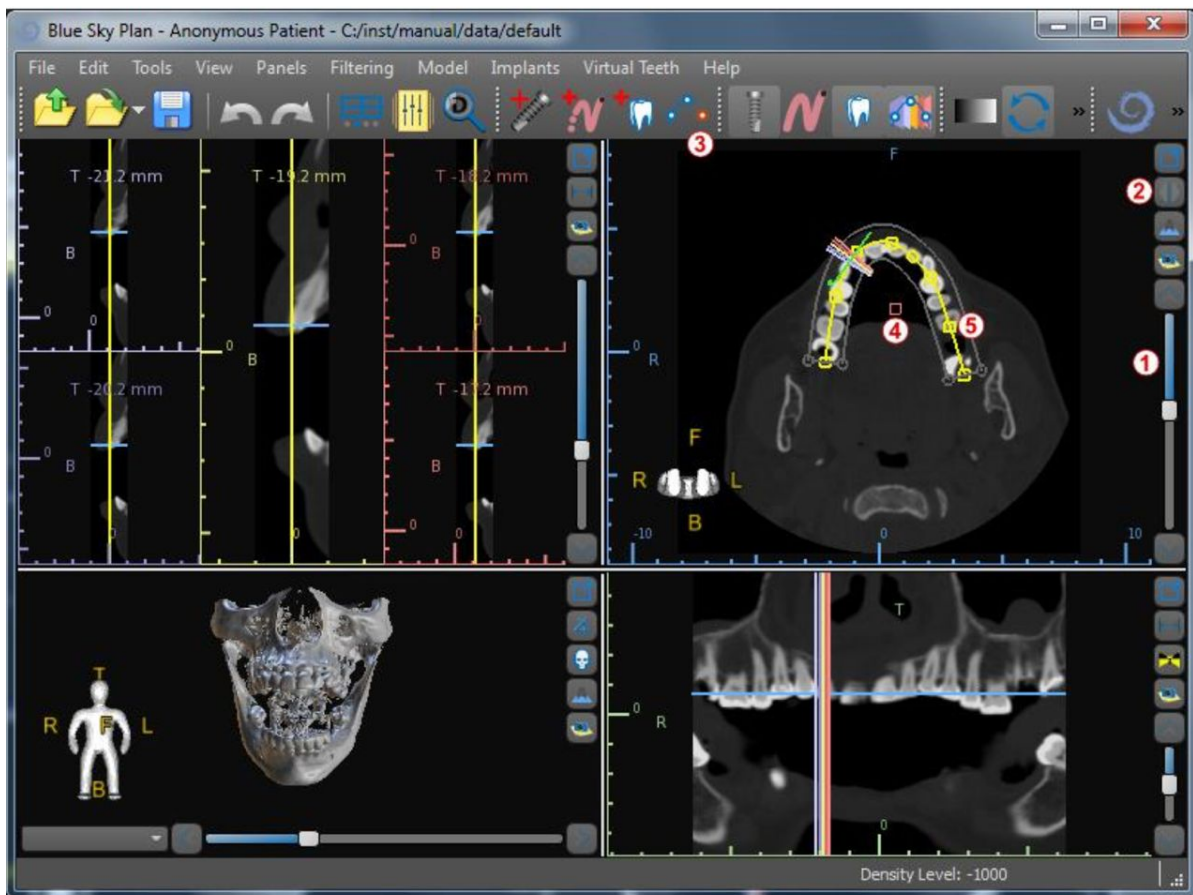
Matching model et pano (Annexe 14)



Matching Scan et model (Figure 15)

La fusion des images 3D et 2D est alors possible et réalisée.

Cinq différentes fenêtres vont possiblement s'ouvrir simultanément, une coupe transversale, une coupe sagittale, une axiale, la courbe panoramique et une vue 3D.



Ensemble des vues possibles(Figure 16)

4) Choix de la ou des dents à remplacer, positionnement et choix des implants.
Ici trois possibilités s'offrent à nous.

a) Placement de la couronne en priorité

Nous pouvons dans un premier temps placer l'hypothétique future couronne au niveau de l'édentement, modifiant sa taille et son angulation afin de correspondre au mieux à nos attentes finales du projet, puis faire correspondre un implant placé automatiquement.

b)Placement simultané

Dans ce cas-là l'implant et la couronne forment un même bloc et leur placement se fait donc simultanément.

Si plusieurs implants sont nécessaires, un paramétrage du parallélisme est possible afin de simplifier leur mise en place sans occasionner d'incohérence au niveau prothétique.

En suivant notre principe selon lequel c'est la prothèse qui guide notre projet , nous allons d'abord mettre en place la ou les couronnes puis adapter les implants.

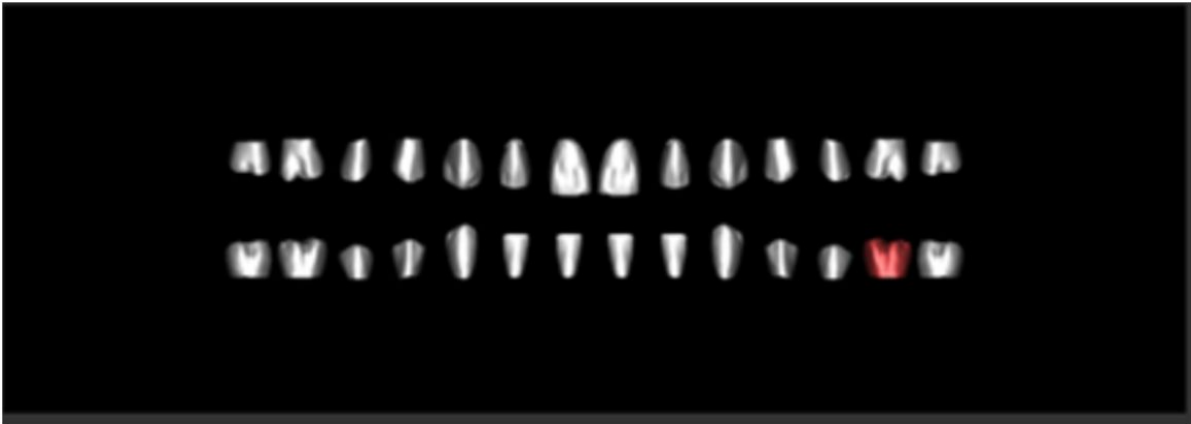
c) Scan d'un wax-up

Pour les cas comprenant un édentement important, il nous est possible de faire réaliser un wax up par le prothésiste et de, soit le scanner via un scanner de table, soit utiliser un cône beam afin d'obtenir une visualisation sous format DICOM à convertir.

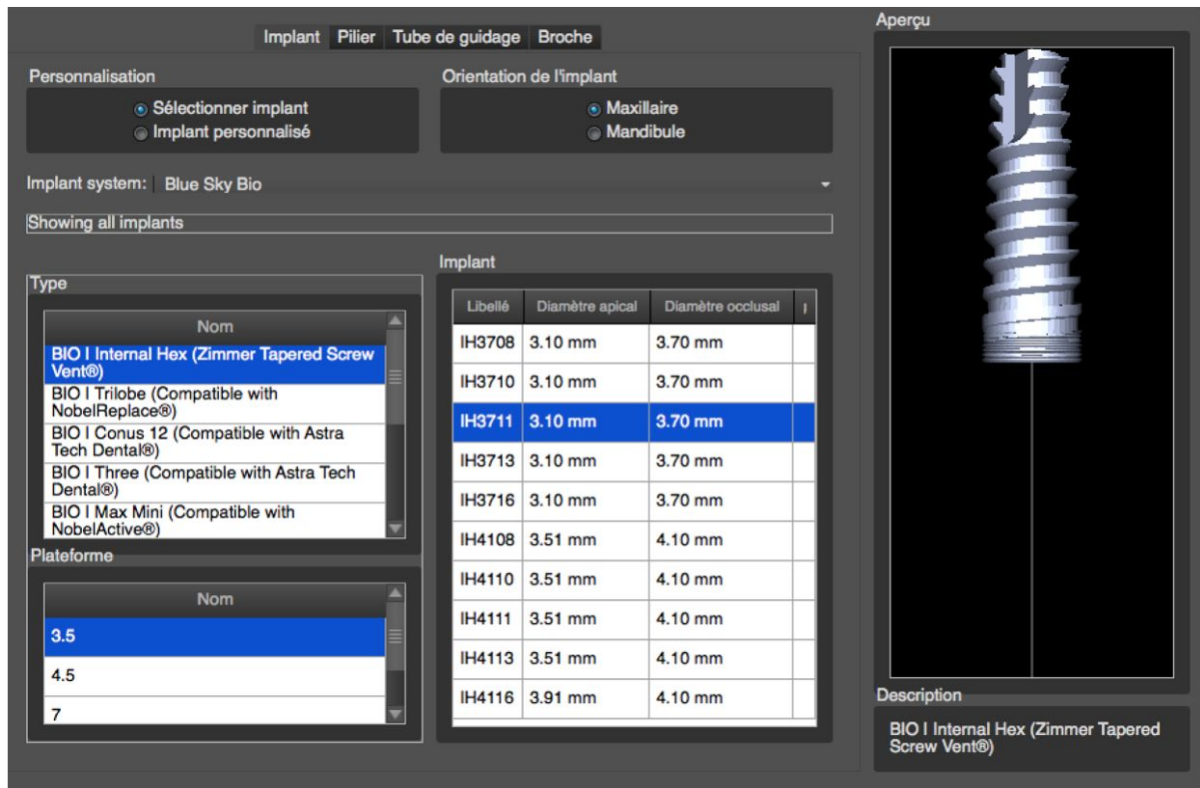
Le ou les implants à placer sont alors choisis au sein d'une bibliothèque comprenant de nombreuses références de différentes marques. Il est aussi possible de commander ces mêmes implants directement via le logiciel mais cela reste optionnel.

Si la marque d'implant que le praticien utilise n'est pas référencée, il est possible d'éditer des implants personnalisés qui correspondront aux dimensions de ces implants.

Il en va de même pour le choix du pilier et de la douille de guidage.



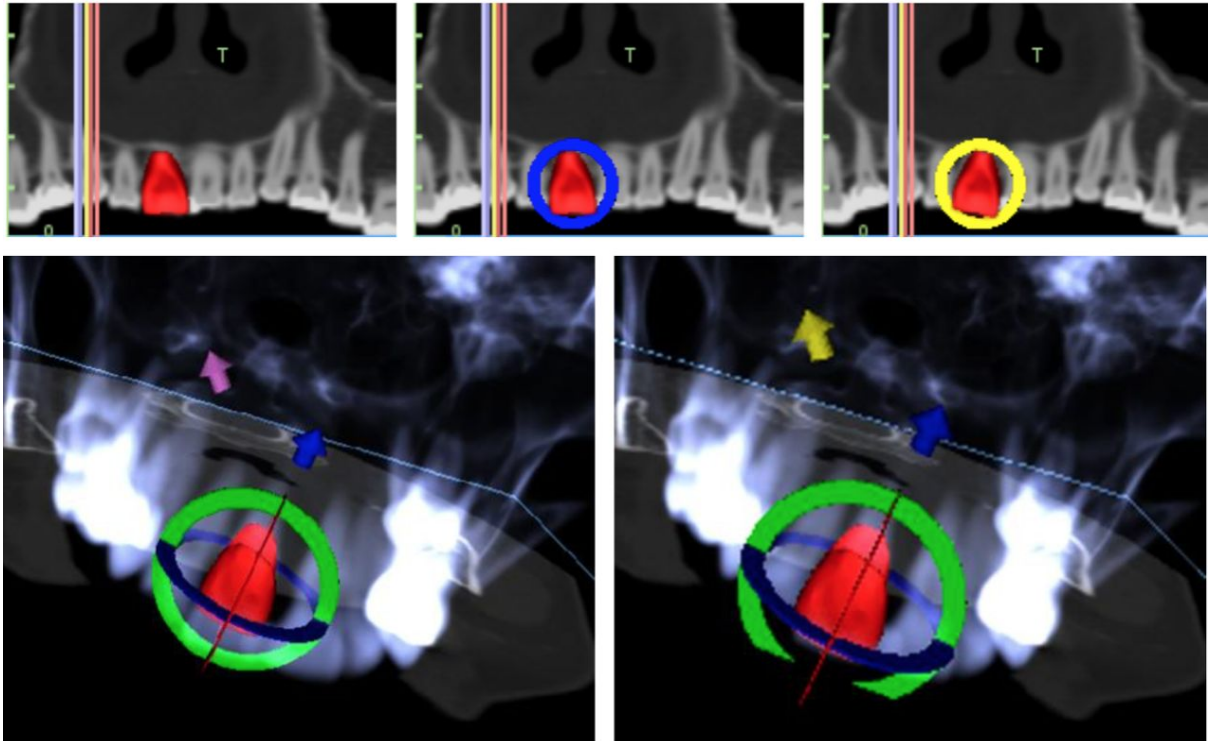
Choix de la dent à remplacer (Figure 18)



Bibliothèque d'implants (Figure 19)

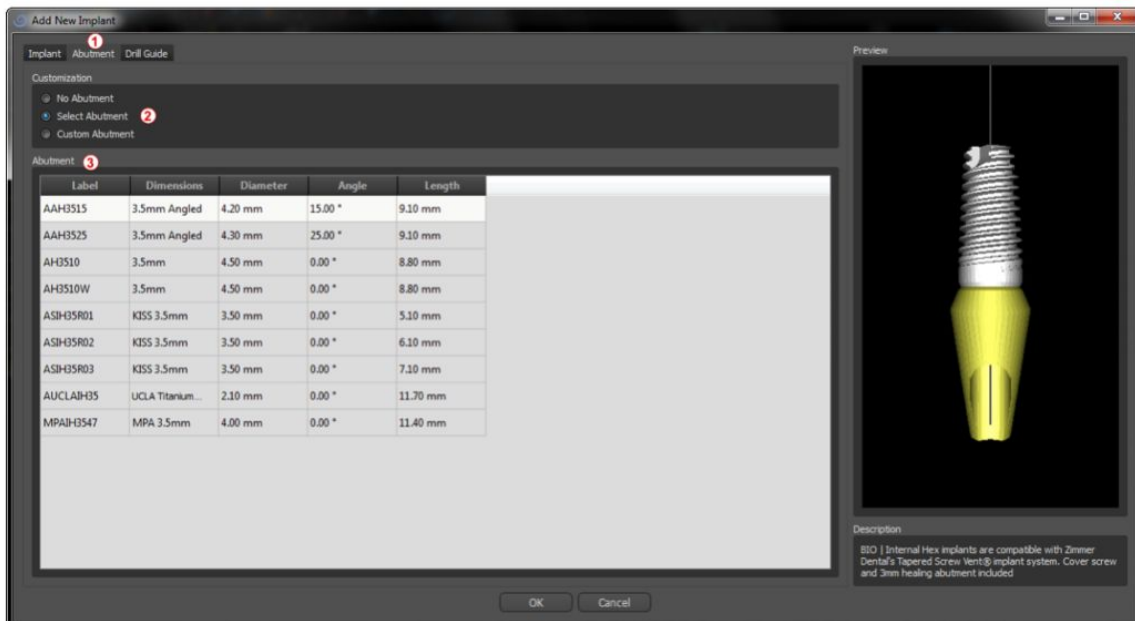
5) Validation de la position

Le futur implant choisi apparaît ensuite sur les diverses coupes et il est alors possible de le placer dans les trois dimensions de l'espace de façon plus précise.



Validation de la position (Figure 20)

6) Choix du pilier implantaire

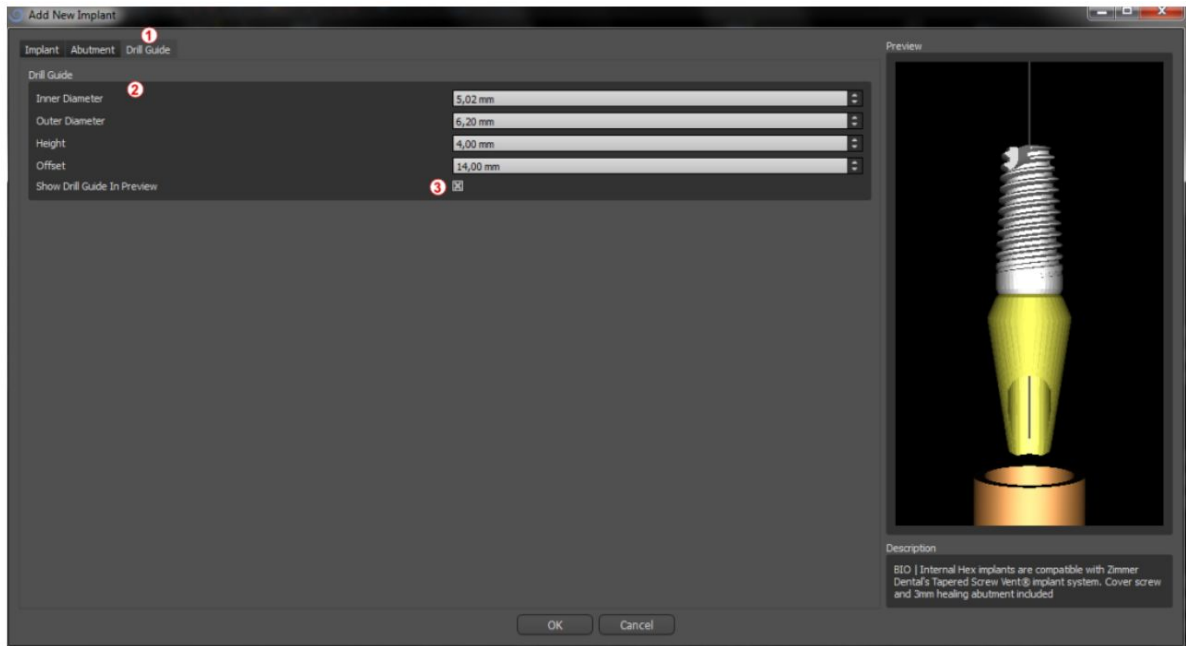


Choix du Pilier Implantaire (Figure 21)

7) Choix de la future douille/ cylindre de guidage.

Une fois la position validée il est alors possible de faire le choix du ou des cylindres de guidage. Ces derniers varient en fonction de leur fonction et du type de guide chirurgical que l'on souhaite (cf III.3).

C'est à l'intérieur de ces cylindres que les douilles en titane seront insérées.

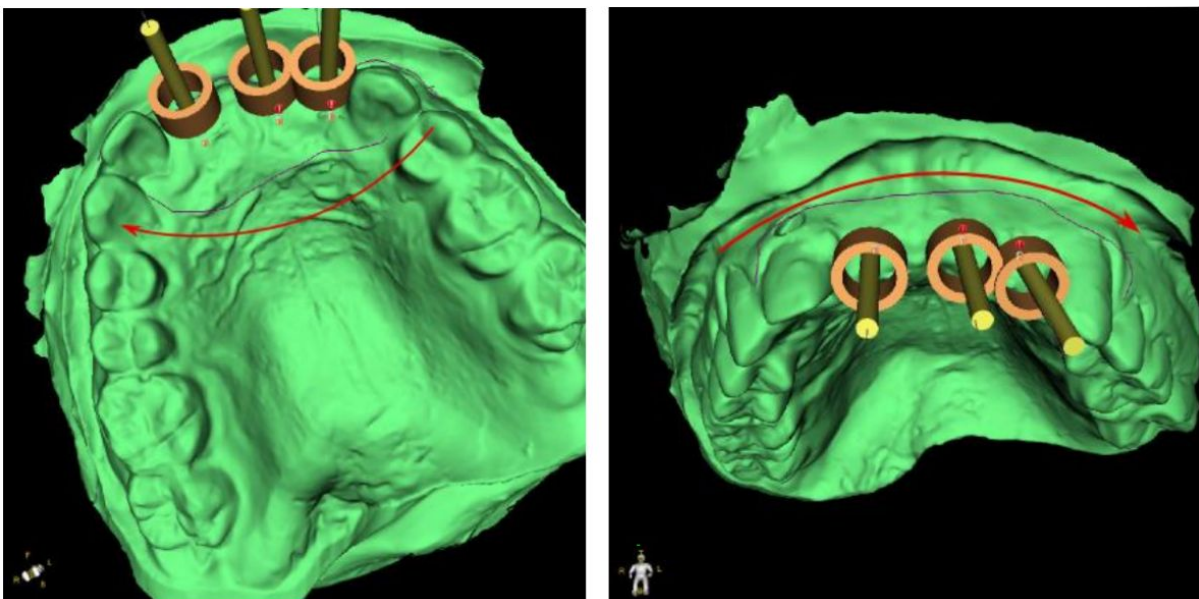


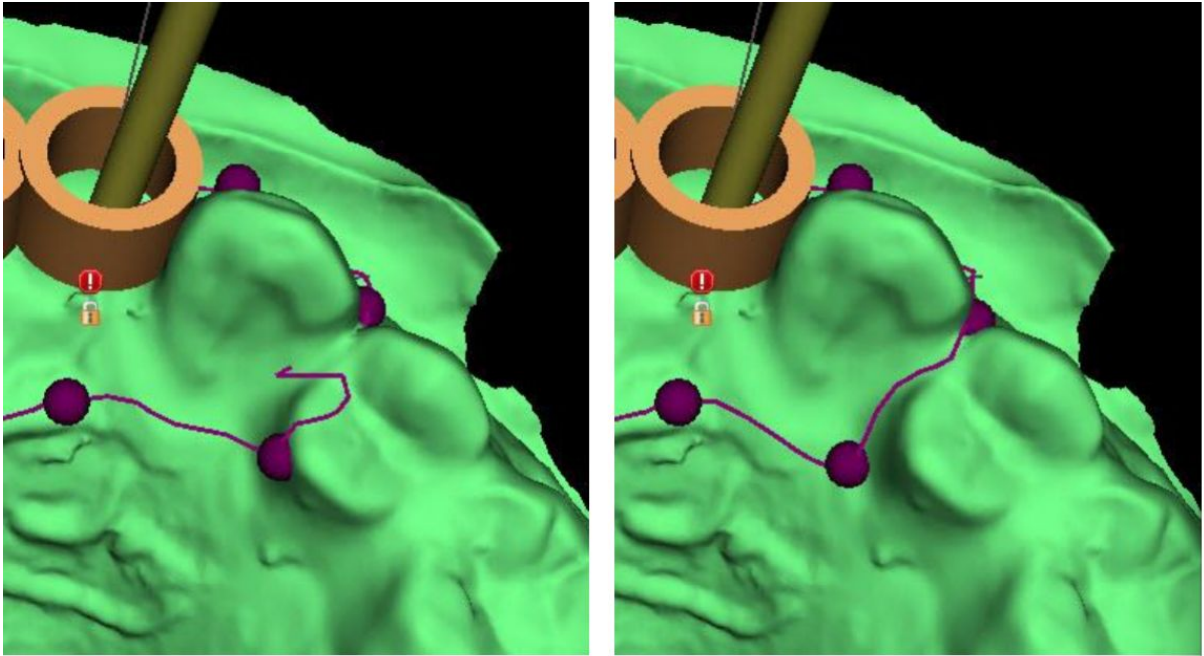
Choix du futur cylindre de guidage

(Figure 22)

8) Délimitation du futur guide

Il s'agit là encore de délimiter dans un premier temps les dents et/ou les surfaces d'appuis. Puis nous venons affiner les limites afin de réduire les risques d'interférences ou de bascules.



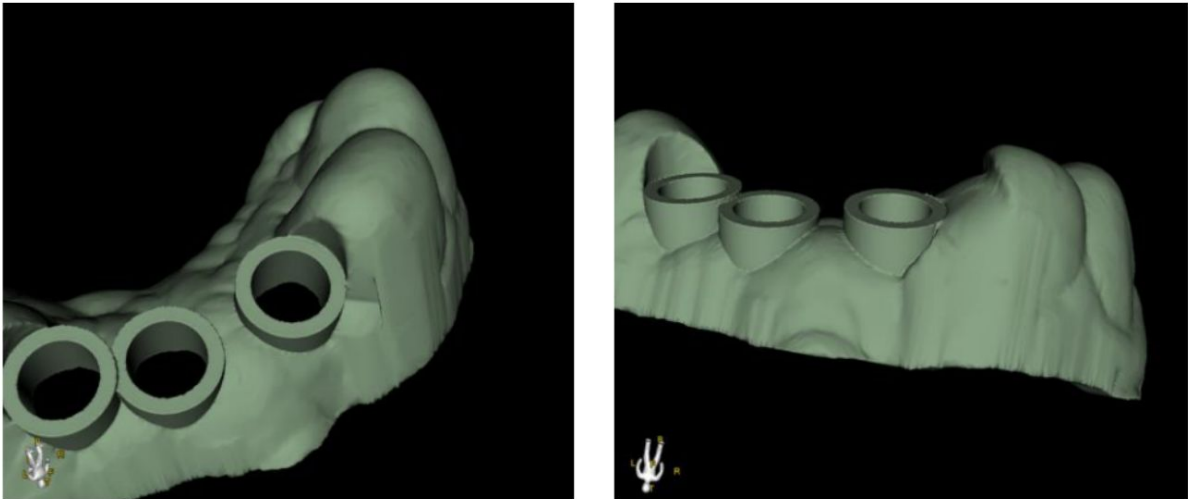


Délimitation du futur guide (Figure 23)

9) Visualisation du projet final

Nouvelle validation et le futur guide chirurgical va apparaître.

Il est alors possible d'envoyer le fichier global comprenant l'ensemble des données avec lesquelles nous avons travaillé jusque-là ou alors simplement le fichier STL du futur guide.



Projet final avant l'impression

(Figure 24)

Les intérêts de cette planification numérique sont:

- une correspondance d'une extrême précision entre les données sur lesquelles nous allons baser notre planification et la situation anatomique réelle grâce à l'imagerie sectionnelle. (19)

- une localisation des obstacles anatomiques.

- une exploitation optimale du volume osseux disponible et de sa densité qui permettra de limiter les interventions annexes. L'intégration de ces données volumétriques est le fondement de l'IAO(20;21).

- faire le choix d'implant le plus judicieux en terme de longueur, diamètre et de son mode de maintien de la prothèse (scellement ou transvissé) en choisissant parmi de nombreux implants disponibles ou en les créant selon les dimensions des implants à notre disposition .

- un coût réduit à son minimum, c'est-à-dire à l'exportation des données STL afin de pouvoir les exploiter via notre imprimante 3D tout en conservant une utilisation facile et accessible à tous.

- cela permet d'avoir un axe implantaire mécaniquement fonctionnel réduisant ainsi le risque de péri-implantite pouvant aboutir à la perte de l'implant

- une pré-visualisation de notre projet final, à la fois utile pour nous mais aussi à notre patient pour qu'il comprenne le projet dans lequel il s'engage, nous avons donc un excellent outil de communication qui permet d'échanger avec notre patient, répondre au mieux à ses questions et attentes.(22)

- le guide qui en découle aboutit à une meilleure reproductibilité de notre projet lors de son application en bouche, ce qui va permettre une facilitation de la mise en oeuvre de mise en charge immédiate ou, dans les cas d'extraction-implantation, d'obtenir une stabilité primaire plus efficace.(23,24)

- d'augmenter la précision lors de la pose des implants, spécialement en cas d'absence de repères anatomiques et d'envisager des chirurgies moins invasives (25)

- de diminuer la bactériémie per et post-opératoire (26)

- de réduire la part praticien dépendante (27)

L'impression 3D va se servir des informations produites par notre planification pour réaliser notre guide chirurgical.

Des cylindres en titane vont être insérés afin de réaliser un guidage effectif sans altérer l'intégrité du guide. Pour cela, lors de la planification, un espace spécifique reportant la forme de ces cylindres au sein du guide va être aménagé. Notons que ces espaces seront majorés de 0,12mm par rapport au diamètre des cylindres en titane afin de pouvoir s'insérer librement sans pour autant créer de mouvement ou de flottement du cylindre au sein du guide. La rétention du cylindre se fait uniquement par friction.

III.3 Les guides chirurgicaux (28)

Comment passer de nos données numériques à une application clinique fiable et précise?
Il faut être capable de transposer la planification en bouche(29).

Pour cela, nous allons utiliser un guide chirurgical(30).

Il est la synthèse des informations collectées nécessaires à un bon positionnement implantaire pour le projet sélectionné(31).

Il existe plusieurs type de guides chirurgicaux ainsi que plusieurs façons de les façonner.

III.3.1 Les guides non contraignants:

Ces guides vont donner une idée du placement en comportant une « fenêtre » délimitant un site d'accès implantaire. Ces guides sont donc les moins précis.

III.3.2 Les guides semi contraignants :

Ils ne vont guider que le foret pilote. Le reste de la séquence se fera à main levée. Le niveau de précision est amélioré mais reste sujet à des variations.

III.3.3 Les guides contraignants (*full guided*):

Ces derniers sont les guides les plus précis. Leur but: contraindre entièrement l'ensemble des angulations et la profondeur du forage.

Les guides chirurgicaux peuvent ensuite être classés en fonction de leur tissu de support.

III.3.4 Les guides chirurgicaux à appuis dentaire:

Ils sont positionnés sur les dents adjacentes sous réserve de leur intégrité et plus spécialement de leur stabilité.



Guide à appuis dentaire

Figure 25

III.3.5 Les guides chirurgicaux à appuis muqueux:

Ces derniers sont posés sur la muqueuse et fixés à l'aide de vis transmuqueuses dont la position est prédéfinie pendant la planification.

On les retrouve chez les édentés totaux permettant ainsi les chirurgies en *flapless*.

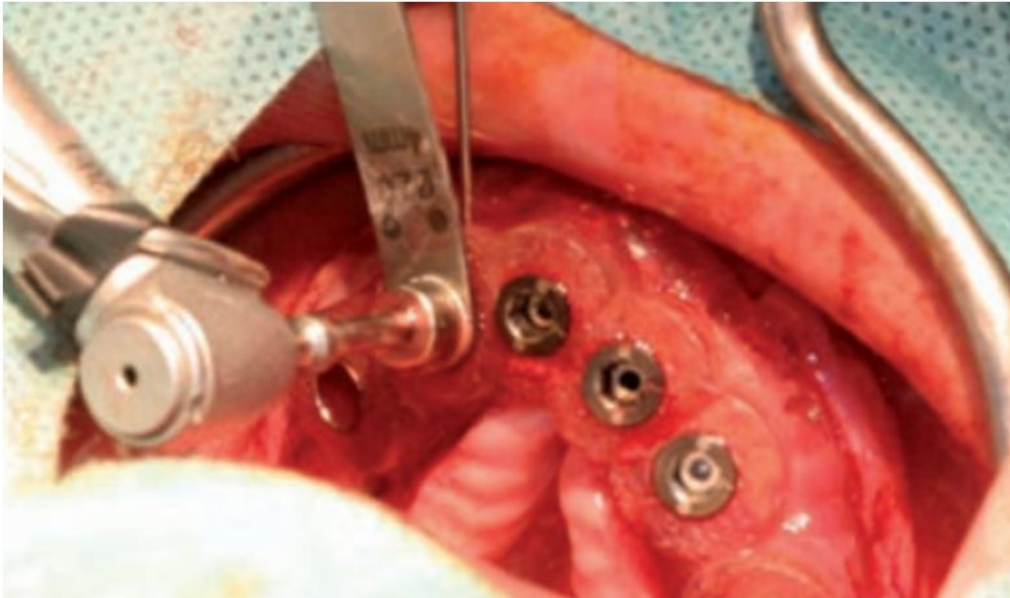


Guide à appuis muqueux .

Figure 26

III.3.6 Les guides chirurgicaux à appuis osseux:

Après la levée d'un lambeau de grande étendue, le guide chirurgical est alors apposé directement sur la surface osseuse et lui aussi fixé à l'aide de vis.



Guide à appuis osseux

Figure 27

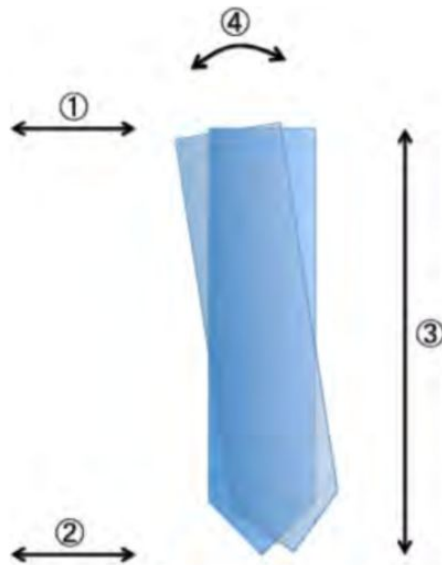
Précision des guides chirurgicaux:

Pour aborder ce point, il est important d'expliquer comment la précision de nos guides est généralement mesurée.

Les études vont se baser sur les déviations constatées entre la planification virtuelle et la position finale et réelle en bouche. Les déviations sont généralement constatées selon quatre critères:

- La variation au niveau du col de l'implant (1)
- La variation à l'apex de l'implant (2)
- La variation de profondeur du forage (3)
- La variation angulaire que ce soit dans le sens vestibulo-lingual ou mésio-distal.(4)

Bien que certaines études ne s'attardent que sur les deux premiers critères.



Déviations possibles de l'implant
(Figure 28)

Précision selon le type d'appuis

Type d'appuis	Déviations du col implantaire (en mm)	Déviations de l'apex (en mm)	Déviations angulaires (en degrés)
Dentaire	0,84	1,2	2,82
Muqueux	1,06	1,6	4,51
Osseux	1,35	2,06	6,36

Précision selon le type d'appuis (Figure 29)

Le recueil des données effectué lors de l'étude menée par Schneider D et al. en 2009 (32) montre que l'utilisation d'un guide dento-porté est préférable.

Des résultats similaires et des conclusions identiques ont été effectués par de nombreuses études (33,34,35).

Qu'en est-il de la précision des guides chirurgicaux réalisés par impression 3D?

Le prototypage rapide le plus évolué à ce jour reste la stéréolithographie.

Selon une étude de Szmukler-Moncler S et al (36), la réalisation d'un guide chirurgical par impression 3D est de haute précision, le taux d'erreurs ne dépassant pas les 0,1%. Etude corroborée par celle d'Haese et al en 2012 (37) et de Cassetta, M., Di Mambro A. et al.(38)

Les guides que nous allons réaliser sont donc fiables.

Quelle précision moyenne attendre de ces guides chirurgicaux?(39,40,41,42,43)

De très nombreux articles traitent de ce sujet, la difficulté étant de trouver les études spécifiques aux guides chirurgicaux stéréolithographiés.

Au vu de la précision de la production de nos guides, les résultats concernant une chirurgie guidée assistée

Pour ce qui est de la déviation au niveau du col et de l'apex des implants, Tahmaseb A & al (39) ont effectué une revue systématique portant sur plus de 2 000 articles et ont retenu comme paramètres évaluant la précision des guides chirurgicaux: la déviation au niveau du col de l'implant et de l'apex

Quant à la déviation angulaire, les études de Xue Zhu ZHAO and al (44),et de Giovanni Di Giacomo and al(45), réalisées en 2014.

L'ensemble de ces études ont été réalisées avec des guides semi-contraignants.

Voici leurs résultats:

Moyenne des variations constatés lors de la revue systématique pour le placement d'implant par chirurgie guidée	
Variations au col de l'implant	1,12 mm
Variations à l'apex	1,63mm
Déviati on angulaire	4,74°

Moyenne des variations constatées (Figure 30)

L'ensemble des articles cités plus haut corroborent ces résultats.

Concernant le full-guided, l'étude de Dreiseidler T. et al. en 2012(46) a montré les résultats suivants:

Moyenne des variations constatées lors de l'étude en chirurgie full-guided	
Variation au col de l'implant	0,671mm
Variation à l'apex de l'implant	0,808mm
Variation Angulaire	1,9°

Figure 31

Les séquences "full-guided" sont donc plus précises selon cette étude.

Les guides chirurgicaux répondent à un cahier des charges précis (47):

- il doit être précis, stable et rigide
- il doit être de mise en place facile et reproductible
- il doit permettre le contrôle tridimensionnel du positionnement implantaire et sont généralement transparents.
- il ne doit pas interférer avec le geste chirurgical lors de l'élévation des lambeaux
- il doit permettre le refroidissement des forêts pendant l'intervention
- il doit être compatible avec le protocole de forage
- il doit être peu encombrant et doit tenir compte de l'ouverture buccale du patient pendant le forage
- il doit être adapté au type d'édentement et au concept thérapeutique choisi
- il doit être stérilisable sans déformation
- il doit être biocompatible de classe 1 selon la norme ISO 10-993.

Dans notre cas il faut ajouter la norme USP quant à la qualité de la résine que l'on utilisera pour l'impression de notre guide.

Lors de l'utilisation de ces guides chirurgicaux, de nouvelles contraintes sont apparues.

Les guides chirurgicaux possèdent l'ensemble des bases du projet prothétique et aussi précis soient-ils, leur placement et leur stabilité sont primordiaux pour obtenir des résultats pertinents.

Afin de réaliser un guidage total de l'ensemble des séquences de forage, il est nécessaire que l'ensemble des forets soient guidés et ce malgré leurs différents diamètres.

La première solution consistait à la réalisation de plusieurs guides chirurgicaux comportant chacun des gabarits de diamètre croissant que l'on remplaçait au fur et à mesure de la chirurgie. Bien évidemment le repositionnement exact n'était pas garanti entraînant une perte de précision.

Aujourd'hui il existe un système de cuillères permettant de laisser le guide chirurgical en place et de simplement appliquer une série de cuillères dont le diamètre externe est constant et dont seul le diamètre interne va être croissant, suivant ainsi la séquence des forêts.

Il existe un autre système où tous les forets de chirurgie sont guidés au sein d'une douille maîtresse.

Coût d'un guide chirurgical et de l'ensemble de la chaîne de planification (48,49):

Szmukler et al. se sont penchés en 2010 sur l'implantologie assistée par ordinateur et ont voulu présenter l'ensemble de ses aspects.

Comme expliqué précédemment l'une des premières contraintes si ce n'est la première reste le coût.

De nombreux systèmes sont présents sur le marché, que ce soit pour la planification numérique ou la réalisation à proprement parler des guides.

Le coût global de l'installation au cabinet de l'imprimante 3D et le coût par guide chirurgical (Annexe 31)

Coût du circuit de production de guides chirurgicaux au cabinet(Annexe 32)

Ensemble des composants pouvant entraîner un surcoût au sein du cabinet dentaire	Coût
Chaîne de planification Logiciel (professionnel) Mise à jour Formation Imprimante 3D+ Annexe (FormLab2®+ FormCure®) Exportation des fichiers STL	environ 5 000 € 11-20 €
Fabrication du guide (prix d'achat du praticien)	environ 20 €* (selon le nombre d'implants désirés)
Total	5 100**

*Ce tarif comprend le coût de la résine (450€/L) nécessaire à la réalisation d'un guide (entre 5 et 15 mL) ainsi que la douille en titane nécessaire au guidage (7€ par douille).

**Coût sujet à variations selon le nombre de guides produits

Le deuxième argument visant à diminuer l'intérêt que l'on pourrait porter aux guides chirurgicaux tient au délai prolongé qui accompagne généralement la production de ces derniers.

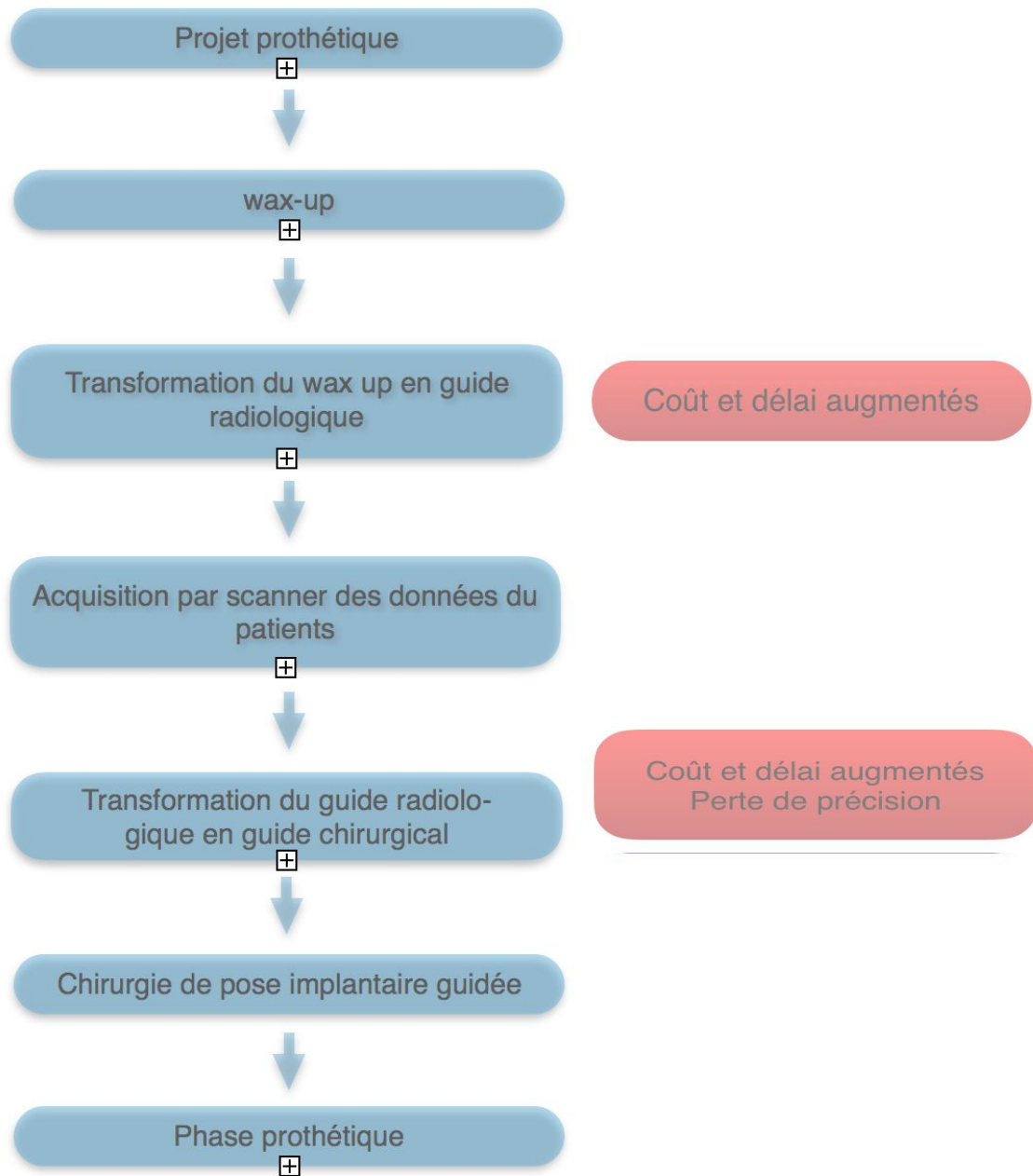
Il est vrai qu'en plus du temps de conception qui peut prendre autour d'une heure pour les premiers cas, il faut ajouter le temps de commande et de réception du guide chirurgical. Avec la pratique, le temps de conception est largement réduit selon les praticiens ayant recours à cette pratique. Ce temps atteint en moyenne 20 minutes pour un praticien chevronné, quel que soit le logiciel de planification employé.

Le temps de commande/livraison pour les deux systèmes autre que le nôtre est d'en moyenne 15 jours. Avec l'impression 3D, ce temps est réduit à 3h en moyenne.

Résumé des différentes étapes d'une planification implantaire selon différentes approches :

Figure 33

Circuit de production d'un guide chirurgical « classique »



Circuit de production par IAO

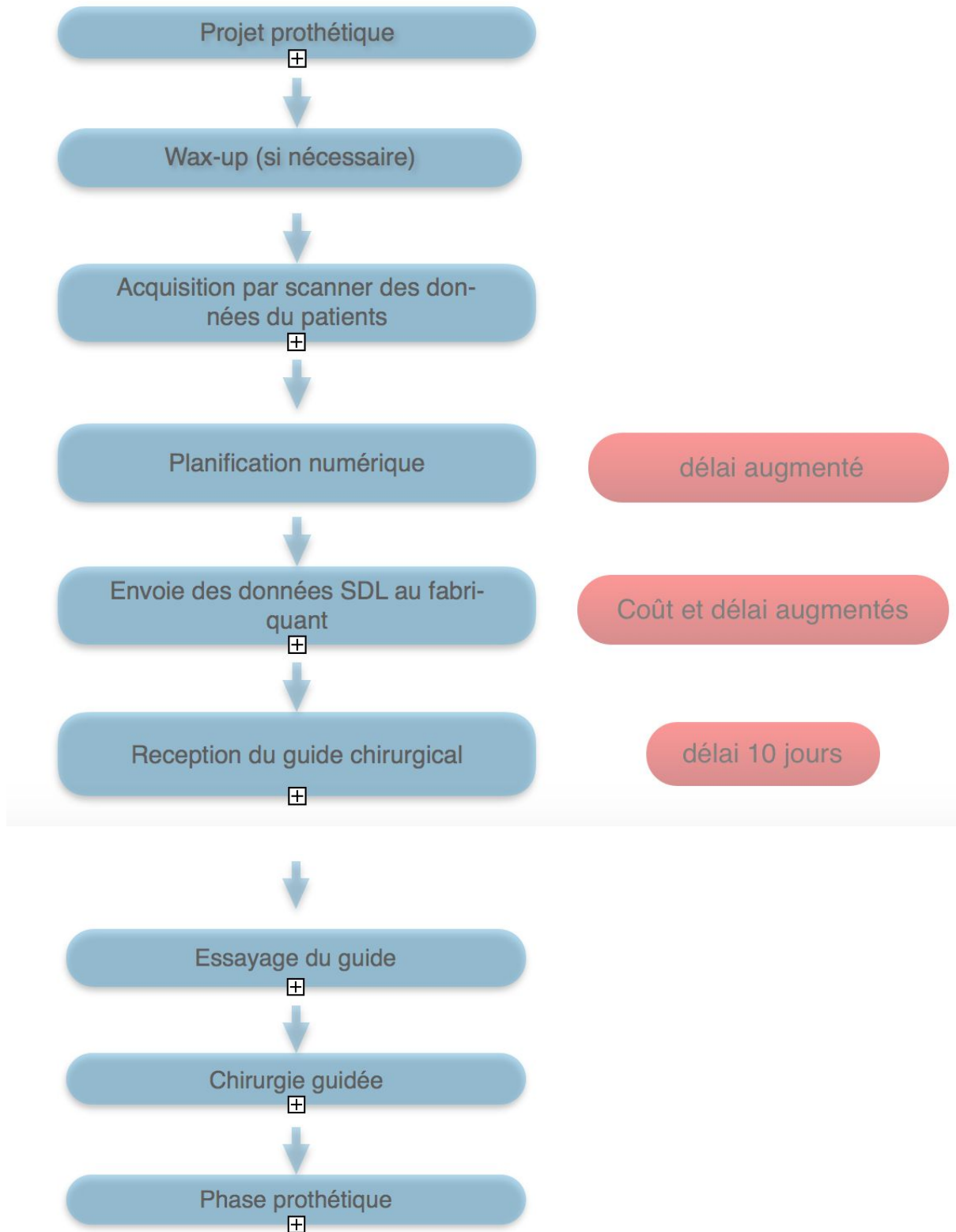


Figure 34

Circuit de production au sein du cabinet :

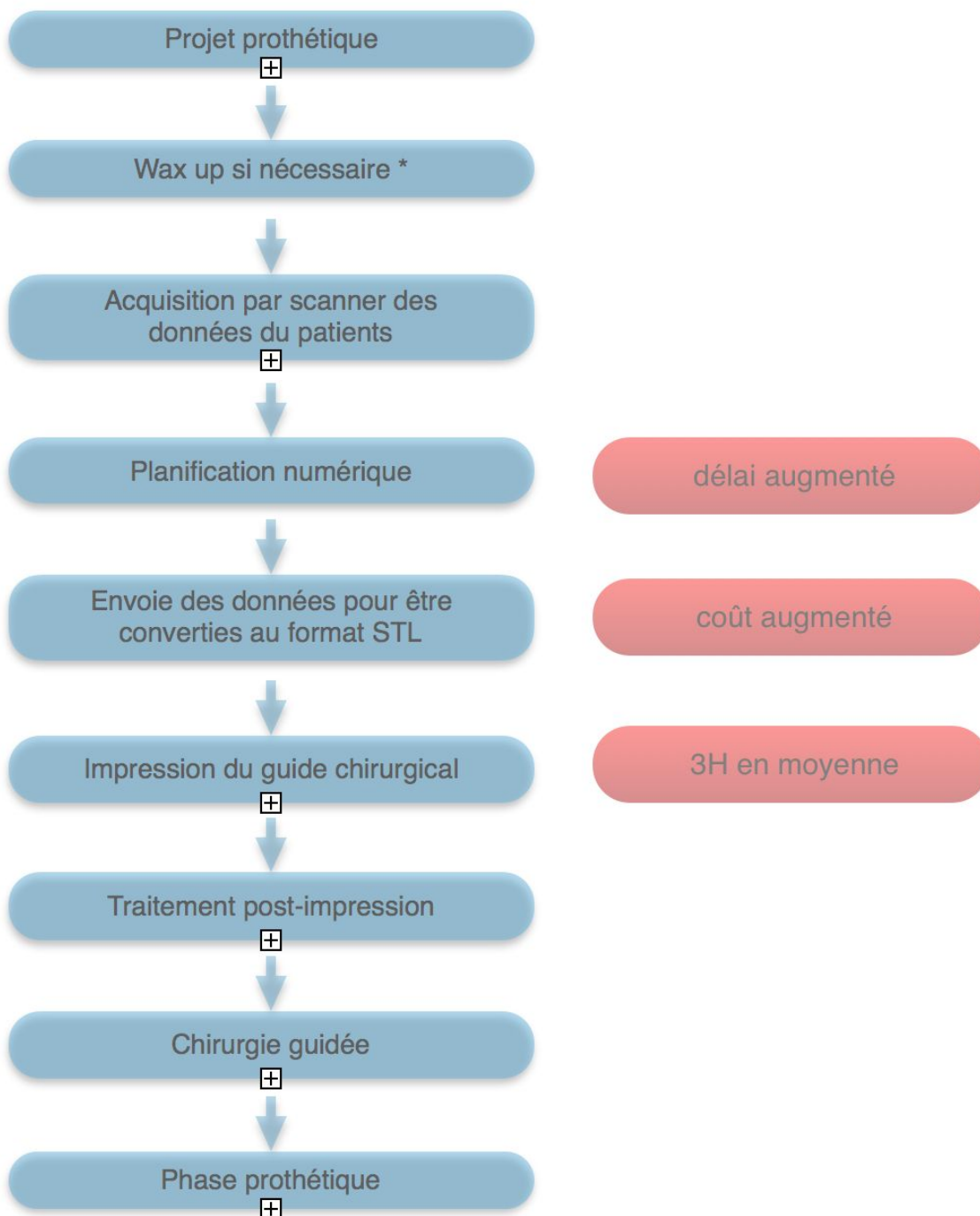


Figure 35

IV. Matériel et méthodes:

L'impression 3D en milieu médical, et plus spécifiquement dans le cadre de l'IAO, ne faisant pas l'objet d'une abondante publication, il était important de bien choisir les mots-clés lors de mes recherches.

Ces derniers se devaient de couvrir à la fois les champs de recherche en français que ceux en anglais et ainsi j'ai abouti à la liste suivante (non exhaustive):

- Implantologie guidée, Implantologie Assistée par Ordinateur, Guides chirurgicaux par stéréolithographie, Implantologie en France,
- Impression 3D, Stéréolithographie, Impression par FSL/DLP/Polyjet, imprimante 3D
- Guided implant surgery, Guided implant Placement, Surgical template, 3D printed template, guided implant surgery accuracy,

Cette thématique étant elle-même récente, rien d'antérieur à 2007 et pouvant comporter un intérêt ne s'est présenté, mis à part les fondements de l'implantologie qui est un domaine exploré depuis de nombreuses années.

Le logiciel Blue Sky Plan 3 développé par la compagnie Blue Sky Bio a lui été obtenu sur leur site gratuitement.

Les critères d'exclusions se sont portés sur:

- les documents touchant aux activités extra odontologiques:
 - ex: articles relatant des chirurgies comportant des prothèses imprimées par impression 3D: prothèse de mandibule, de calotte crânienne .
- les articles publicitaires des différentes compagnies d'implants pour ce qui est de la précision de leur système. Néanmoins ils étaient nécessaires pour accéder aux tarifs des différents systèmes.

Matériel pour les cas cliniques:

Pour nous permettre de réaliser l'ensemble des étapes de notre planification de chirurgie, voici la liste du matériel nécessaire:

- Un ordinateur présentant les critères minimums suivants:
 - Un système d'exploitation: Windows 10, Windows 8 Home/Professional, Windows 7 Home/Professional, or Mac OS X Lion/ Mountain Lion/ Sierra
 - Processeur: Intel Core i5 or comparable
 - RAM: 8 GB
 - Carte graphique: NVidia or ATI / >1GB Video RAM
 - Ecran : 14 pouces /résolution minimum de 1440 X 900
 - Disque Dur: 500MB d'espace libre.

- Une Imprimante 3D: Form2 de Formlabs
- Un appareil de traitement post impression BBcure de Meccatronicore Formcure
- Un appareil de stérilisation de type Autoclave®
- Un bac à ultrasons rempli d'Isopropanol.
- Des douilles de guidages en titane de chez Camlog
- Trousse d'outillage pour chirurgie guidée Camlog
- L'ensemble du matériel nécessaire à un cabinet dentaire.

De façon optionnelle, un Cône Beam



Figure 36

V.Cas Cliniques

Les illustrations des cas cliniques ont été réalisées par le Dr Brothier.

V.1 Cas Clinique n°1

Sexe : femme

Age : 57 ans

ATCD médicaux et chirurgicaux :allergie à la pénicilline

Situation initiale:

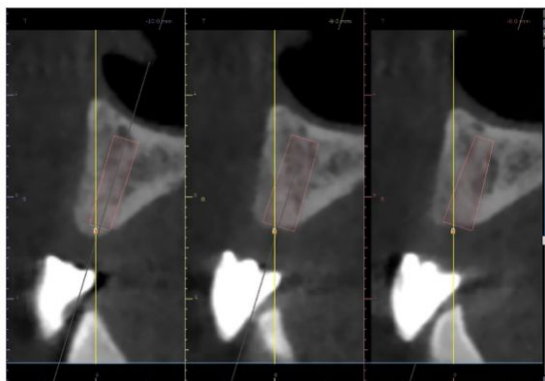
La 12 présente une reconstitution corono-radicaire coulée et une couronne CCM. Les examens cliniques et radiologiques révèlent une fracture radiculaire au niveau du tenon. La dent est donc extraite et, de manière provisoire durant le temps de cicatrisation, la CCM est collée aux dents adjacentes.



Situation initiale

Choix de la thérapeutique :

Nous sommes ici dans un cas d'édentement unitaire encastré (12) bordé par deux dents saines. Nous optons pour une réhabilitation implantaire. Le scanner a révélé une densité osseuse et un volume suffisants pour la mise en place d'un implant sans nécessité de greffe osseuse préalable.



Coupe verticale de l'examen radiologique 3D

La gencive kératinisée est en quantité satisfaisante.

La difficulté opératoire relève ici du faible espace mésio-distal disponible.

La contrainte majeure tient quant à elle à la nécessité d'un résultat esthétique satisfaisant et immédiat suite à la pose de l'implant du fait de la position de ce dernier.

Une chirurgie « full guided en flapless » avec mise en charge immédiate d'une couronne provisoire de laboratoire est retenue.



Situation une fois la couronne déposée et essai du guide chirurgical dento-porté

NB: Les cylindres utilisés ne sont pas, pour ce qui est de leur contour externe, parfaitement circulaires ce qui permet comme ici de ne pas être gêné par les couronnes des dents adjacentes dans les cas où l'espace mésio-distal est faible.



Utilisation d'un punch au travers du guide



Suite de la séquence de forage et mise en place de l'implant



Validation de la position de l'implant à l'aide d'une encoche présente sur le guide et sur le tournevis

La validation se fait en butée porte-implant contre la douille, doublée d'un repère devant se trouver en regard sur le tournevis et sur le guide chirurgical.



Mise en charge immédiate de la couronne transvisée en post opératoire (à gauche), à un mois (à droite)

V.2 Cas clinique N°2

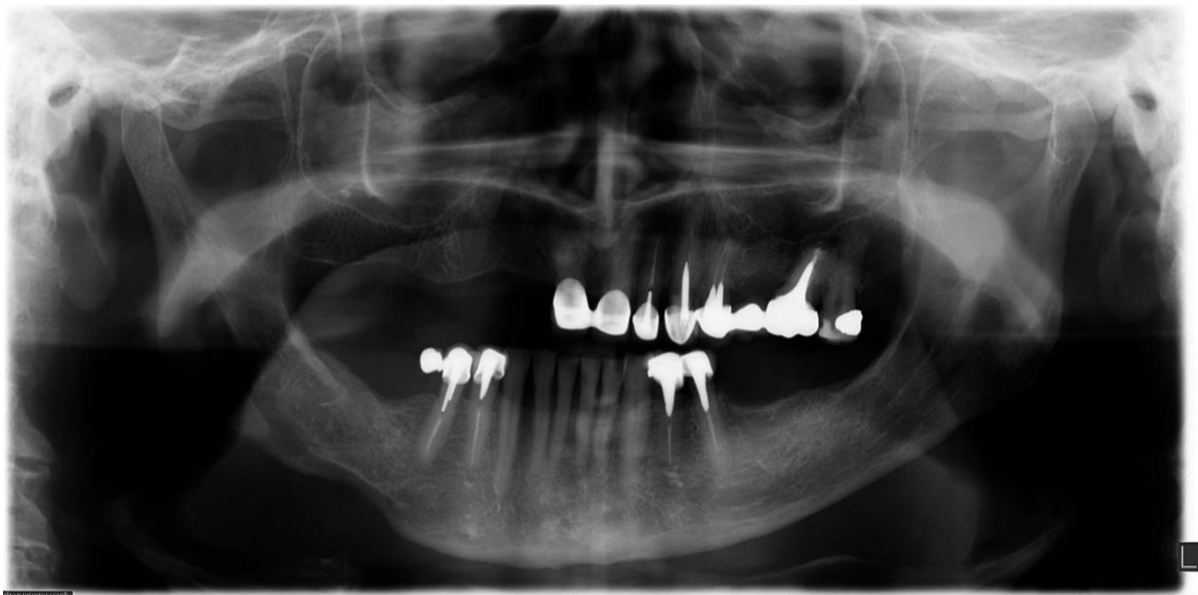
Sexe : femme

Age : 63 ans

ATCD médicaux et chirurgicaux : aucun

Situation Initiale:

Patiente édentée de longue date, ne supportant plus ses appareils amovibles.

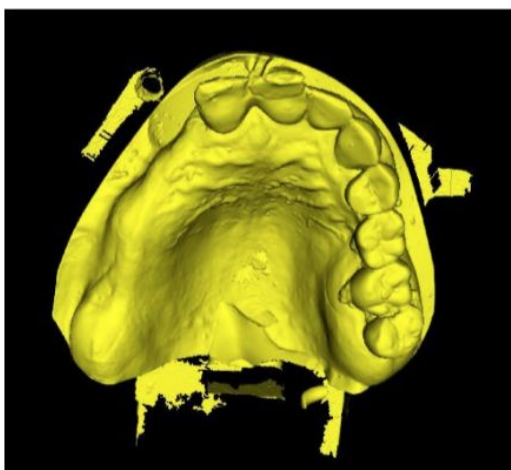


Situation initiale

Au maxillaire nous sommes dans un édentement terminal de classe 2.

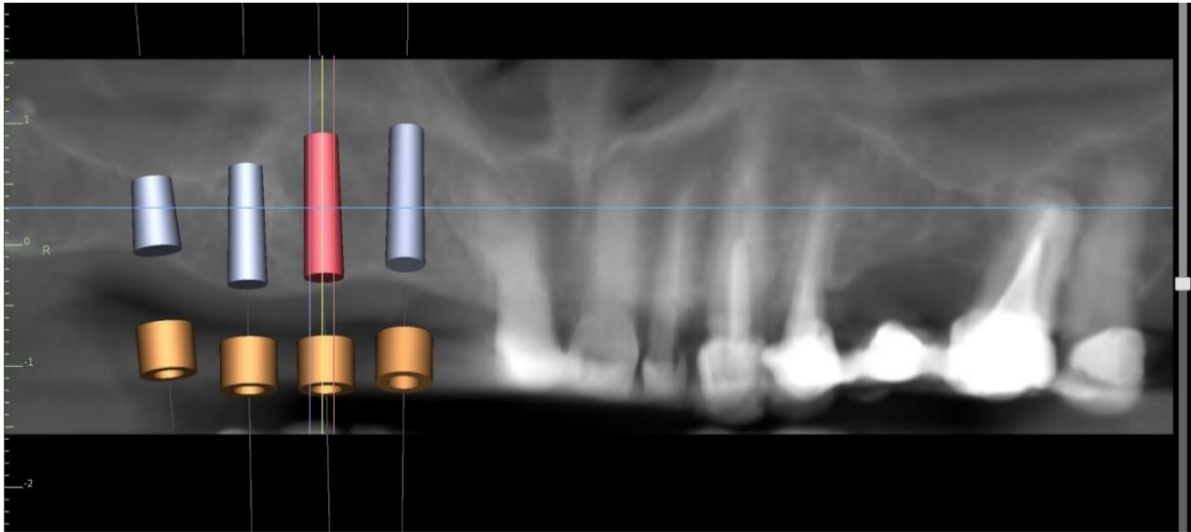
A la vue de l'étendue de l'édentement, nous réalisons avec le prothésiste un montage en articulatoire et un wax-up maxillaire et mandibulaire en occlusion.

Ce projet prothétique est ensuite scanné pour être intégré à la planification numérique sous forme de fichier STL.



Wax-up

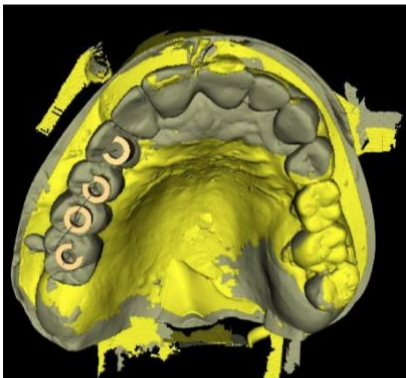
Nous sommes confrontés ici à un problème anatomique. En effet, si nous voulons poser un implant en 12 dans l'axe prothétique idéal en suivant le wax-up, celui-ci se retrouve au contact de la racine de 11 qui est très fortement inclinée distalement.



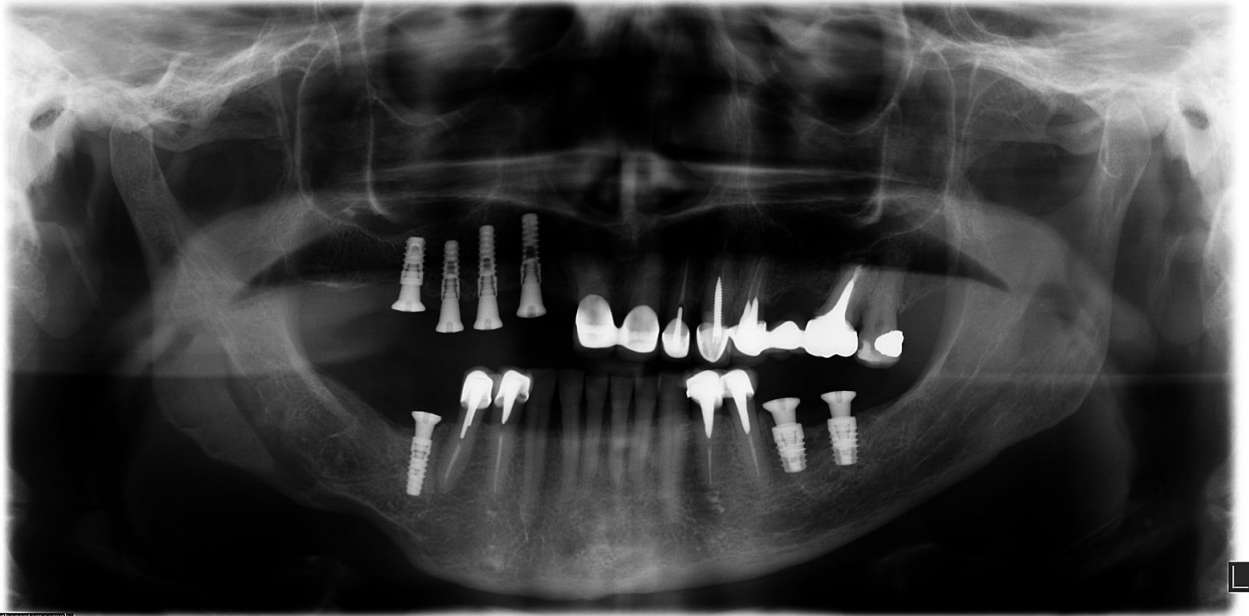
Planification

Choix de la thérapeutique :

Plutôt que de poser un implant incliné, nous choisissons de réaliser une réhabilitation implantaire jusqu'à la 16 et de solidariser les implants par un bridge avec 12 en extension.



Essayage du biscuit



Panoramique à un mois



Situation à un mois

V.3 Cas Clinique n°3

Age : 65 ans

Sexe : femme

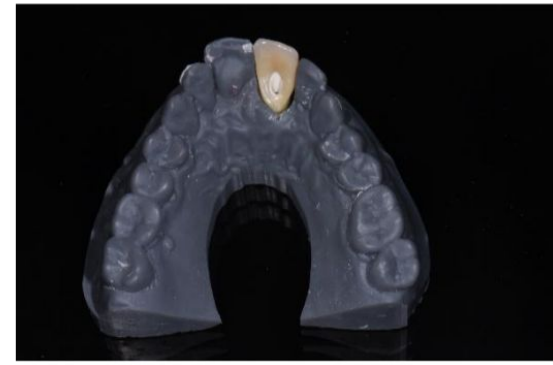
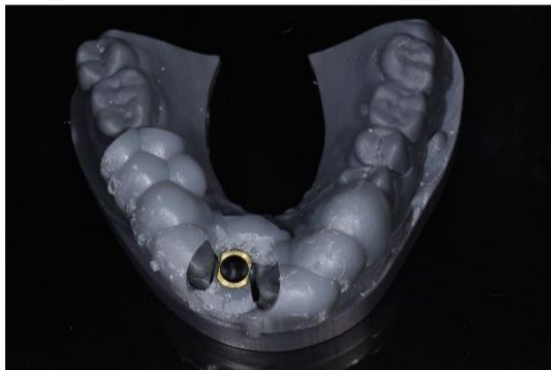
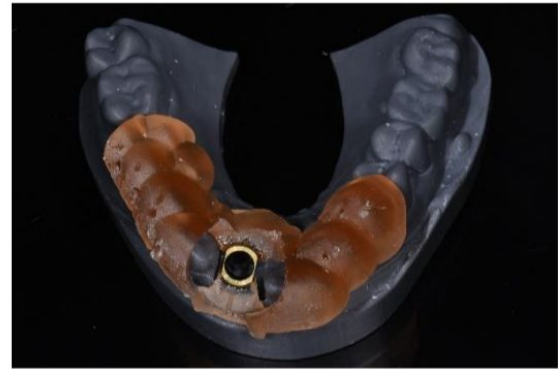
Situation initiale : fracture radicaire de 21, supraclusion avec un surplomb important.



Situation initiale

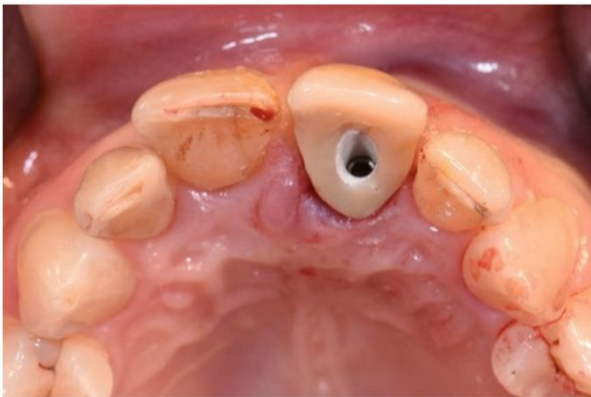
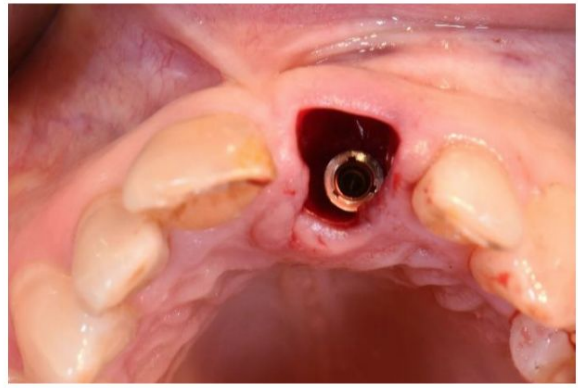
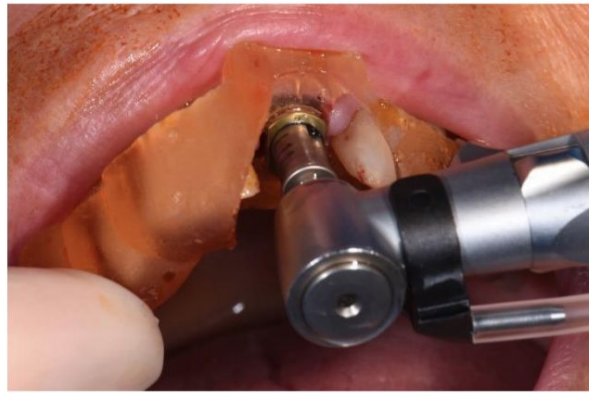
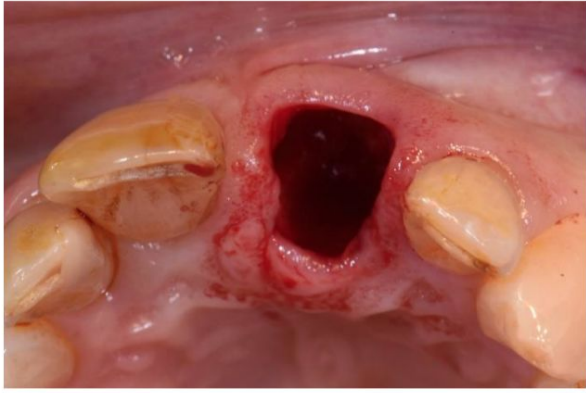
Impression d'un modèle maxillaire où nous avons simulé l'alvéole post-extractionnelle.

A l'aide d'une réplique du guide chirurgical, l'analogue de l'implant est mis en place sur ce modèle avant même la chirurgie. Le prothésiste peut alors réaliser une couronne provisoire transvissée.

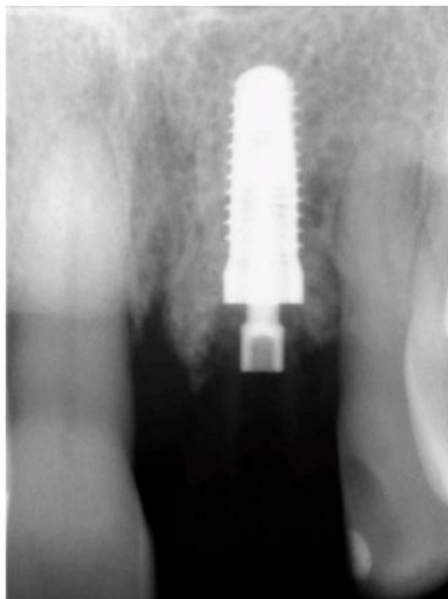


Phase pré-chirurgicale

Le jour de la chirurgie, la dent est avulsée, le site opératoire est nettoyé, l'implant posé en « full guided », l'alvéole comblée par un matériau de comblement (Ostéobiol mp3® de Pred©) puis la couronne provisoire est posée.



Jour de la chirurgie



Résultat du cas à un mois de la chirurgie

VI. Discussion sur la chirurgie guidée et les systèmes d'impression 3D

Les intérêts de notre chaîne d'implantation guidée:(50;51;52;53;54;55;56;57;58,59;60):

- L'optimisation des ressources osseuses disponibles.
- La sécurité: les structures nobles sont bien identifiées et protégées par notre planification.
- Le confort: de cette sécurité découle une diminution du stress du praticien en particulier chez les praticiens débutants. Mais cela représente également un confort pour le patient qui ressent moins de douleurs en per et post opératoires. Ce faisant les patients ayant subi les deux types de chirurgie recommandent généralement la chirurgie guidée.
- Une vitesse d'exécution augmentée.
- La prédictibilité: au vu de la précision de l'ensemble de la chaîne il est alors possible de produire des prothèses transitoires en amont de la chirurgie.
- Une communication visuelle: la possibilité de montrer le résultat attendu suite à la pose de nos implants est un élément clé à la fois dans l'acceptation du plan de traitement par le patient mais également un moyen de le rassurer car plus concret.
- Montrer le désir de formation continue du cabinet: rester à la pointe des dernières techniques et les technologies qui les accompagnent est inhérent à notre pratique.
- Un succès moins opérateur-dépendant: la chirurgie dite «à main levée» repose essentiellement sur l'expérience du chirurgien-dentiste impliqué, alors que lors de l'utilisation de guides, les praticiens expérimentés et débutants présentent un taux de réussite équivalent.
- La possibilité de chirurgie en *flapless*: réduit le temps nécessaire à la cicatrisation.

Les inconvénients:(61;62;63)

- La visibilité: la visibilité une fois le guide en place s'en retrouve réduite. Un inconvénient qui se retrouve à la marge si les guides sont bien conçus, produits et positionnés. Dès lors le guidage sera efficient et la nécessité d'une visibilité totale.

- L'irrigation du site opératoire : l'action mécanique de notre chirurgie via les forets sur l'os va entraîner une élévation de la température du site, ce qu'il faut limiter le plus possible. Aujourd'hui des forêts à irrigation interne, spécialement conçus à cet effet, permettent de réduire cet échauffement en permettant une irrigation directe du forêt.

- Phénomène de courbe d'apprentissage: comme dans toute nouvelle technique, il faut la maîtriser et cela demande du travail et du temps.

- Limitée voire impossible en cas d'ouverture buccale insuffisante.

- Ne se substitue pas à une maîtrise de l'implantologie classique: en aucun cas la chirurgie guidée ne saurait « remplacer » l'implantologie « à main levée ».

Il faut que le praticien soit toujours capable, pour une raison quelconque, de reprendre la main sur sa chirurgie et de se passer du guide.

- Le coût: comme expliqué précédemment, l'utilisation de l'ensemble de cette chaîne numérique de planification et de guidage chirurgical présente malgré tout un investissement. Mais ce qui était hier considéré comme un luxe apparaît aujourd'hui à la portée de tous.

- Des délais augmentés: la planification ainsi que le processus de fabrication du guide en lui-même présentent bien entendu une augmentation du temps imparti à la phase pré-implantaire. Une partie de ce temps sera rattrapé lors de la chirurgie elle-même, sans compter la réduction des risques de complications qui ralentissent le projet prothétique et son intégrité. De plus, lorsqu'il a été évoqué, ce reproche intégrait généralement le délai entre la fin de la planification et l'obtention du guide chirurgical qui dans notre cas est réduit de 10 jours en moyenne à 5h.

Les limites attendues à cette thèse ont été multiples.

Tout d'abord, le manque, voire la quasi-absence, d'études comparatives sur le long terme entre un protocole implantaire à main levée et un utilisant un guide chirurgical, imprimé par 3D ou non. Bien qu'il soit accepté que les guides vont avoir pour effet de diminuer la part praticien dépendante quant au succès d'une chirurgie, des données concrètes et comparatives auraient été utiles.

Le marché de l'impression 3D est en pleine expansion, de nombreuses sociétés commercialisent des machines dont la précision et le coût varient grandement.

VII. Conclusion

L'implantologie reste une spécialité relativement récente et nécessite de véritables compétences. L'obtention d'implants placés au plus près de la position préalablement définie est et restera l'un de ses principaux objectifs. Les outils numériques à notre disposition et les progrès dans l'ensemble des domaines satellites à l'implantologie (radiologie, empreinte optique, logiciel de planification...) nous permettent aujourd'hui de nous approcher au plus près de ce but, résultant à une satisfaction du patient et du praticien.

Il faut souligner que le côté dynamique de ce secteur concurrentiel de l'économie entraîne constamment de nouvelles innovations et une réduction des coûts.

Les différentes plateformes numériques d'échanges d'information à notre disposition aujourd'hui permettent un partage de nos réussites, échecs, difficultés rencontrées, tout au long de nos planifications et les éventuelles questions que l'on se pose.

Tout cela en respectant bien entendu l'identité des patients concernés.

L'impression 3D présente une voie d'avenir qui devrait permettre une réduction des pertes de matériau, jusqu'ici inhérente à la production soustractive actuelle.

Pour ce qui est des perspectives d'avenir pour notre pratique, une avancée majeure vient d'être effectuée par une société française, 3DCeram(64) est en mesure d'imprimer en 3D des céramiques polycristallines (zircone, alumine).

il est également possible aujourd'hui d'imprimer une prothèse complète par impression 3D.

La pose d'implant ne se retrouve pas subitement à la portée de n'importe quel chirurgien mais l'utilisation d'un guide chirurgical complète le protocole implantaire en y apportant plus de sécurité.

VIII. Bibliographie

- 1: Patricia Erb, Dr Da Costa-Noble
IMPLANTS DENTAIRE Souriez, vous pouvez réduire la facture
Le Particulier • N° 1110 • Juin 2015 / 65
- 2: Dr Jacques FAIN
Etat de l'implantologie en France
Caducee.net Mai 2000
- 3: Dr Cohen N.
Etat des lieux de l'implantologie en France
Le fil dentaire, 20 Novembre 2015
- 4: Dr Vermeulen
Comparaison de l'implantologie à main levée versus l'implantologie guidée
JOMI, 19 avril 2016
- 5: Scherer U, Stoetzer M, Ruecker M, Gellrich NC, von See C.
Template-guided vs. non-guided drilling in site preparation of dental implants
Clin Oral Investig_ 2015 Jul;19(6):1339-46. doi: 10.1007/s00784-014-1346-7. Epub 2014 Oct 30.
- 6: Mathilde Berchon
L'impression 3D 2eme Edition
Editions Eyrolles, 17 juil. 2014
- 7: Ibrahim D, Broilo TL, Heitz C, de Oliveira MG, de Oliveira HW, Nobre SM, et al.
Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet models in the reproduction of mandibular anatomy.
J Craniomaxillofac Surg 2009;37(3):167-73
- 8: Katsoulis, P. Pazera, and R. Mericske-Stern,
Prosthetically driven, computer-guided implant planning for the edentulous maxilla: a model study.
Clinical Implant Dentistry and Related Research, vol. 11, no. 3, pp. 238–245, 2009.
- 9: Stéphan G., Noharet R., Berteretche M.V., Mariani P.
Risques anatomiques à la mandibule en chirurgie implantaire.
Quintessence International, 2012.
- 10: Diss, Peltier, and Berdougou.
La Planification Implantaire.
Le fil dentaire 43 (2009): 44–48

- 11: Voitik AJ.
CT data and its CAD and CAM utility in implant planning: part I.
J Oral Implantol. 2002;28(6):302-303.
- 12: Worthington P, Rubenstein J, Hatcher DC.
The role of cone-beam computed tomography in the planning and placement of implants.
J Am Dent Assoc 1939. oct 2010;141 Suppl 3:19S-24S.
- 13: Monsour PA, Dudhia R.
Implant radiography and radiology.
Aust Dent J. juin 2008;53 Suppl: 1:S11-25
- 14: Van der Zel JM.
Implant planning and placement using optical scanning and cone beam CT technology.
J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont. août 2008;17(6):476-481
- 15: Vandenberghe B, Jacobs R, Bosmans H.
Modern dental imaging: a review of the current technology and clinical applications in dental practice.
Eur Rad 2010;20: 2637–2655
- 16: Azari A, Nikzad S.
Computer-assisted implantology : historical background and potential outcomes—a review.
The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery. 2008 ; 4(2) : 95–104.
- 17: 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 (English).
J Clin Periodontol. cover date 2007;34(9):816-821.
- 18 : Vinicius de Magalhães Barros, Natália Rafaela de Assis Costa, Paulo Henrique Fonseca Martins, Walison Arthuso Vasconcellos, José Augusto César Discacciati, Allyson Nogueira Moreira
Definitive Presurgical CAD/ CAM-Guided Implant-Supported Crown in an Esthetic Area
Brazilian Dental Journal (2015) 26(6): 695-700
- 19: Xue Zhu ZHAO, Wei Hua XU, Zhi Hui TANG, Min Jie WU, Jie ZHU, Si CHEN
Accuracy of Computer-Guided Implant Surgery by a CAD/CAM and Laser Scanning Technique
The Chinese Journal of Dental Research; Volume 17, Number 1, 2014
- 20: Azari A, Nikzad S.
Computer-assisted implantology : historical background and potential outcomes—a review.
The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery. 2008 ; 4(2) : 95–104.

- 21: Mario Beretta, Pier Paolo Poli, Carlo Maiorana .
Accuracy of computer-aided template-guided oral implant placement: a prospective clinical study .
J Periodontal Implant Sci 2014;44:184-193
- 22: Shin-Young Youk, Jee-Ho Lee, Ji-Man Park, Seong-Joo Heo, Hyun-Ki Roh, Eun-Jin Park, Im Hee Shin.
A survey of the satisfaction of patients who have undergone implant surgery with and without employing a computer-guided implant surgical template .
J Adv Prosthodont 2014;6:395-405
- 23: Polizzi G, Cantoni T.
Five-Year Follow-Up of Immediate Fixed Restorations of Maxillary Implants Inserted in Both Fresh Extraction and Healed Sites Using the NobelGuide™ System: Guided Surgery Postextractive Immediate Loading.
Clinical Implant Dentistry and Related Research. 2013 ; n/a – n/a.
- 24: Szmulker-Moncler S., Davarpanah K. et Davarpanah M.
Implantologie assistée par ordinateur.
Rueil-Malmaison: Éd. CdP, 2010, Collection JPIO : 241
- 25: Azari A, Nikzad S.
Flapless Implant surgery: review the literature and report of 2 cases with computer-guided surgical approach.
J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg. Mai 2008;66(5):1012-1021.
- 26: Arisan V, Bölükbaşı N, Öksüz L.
Computer-assisted flapless implant placement reduces the incidence of surgery-related bacteremia.
Clinical Oral Investigations. 2013 ; 17(9) : 1985– 1993.
- 27: Kitichai Rungcharassaeng, Joseph M. Caruso, Joseph Y. K. Kan, Filip Schutyser, Tiny Boumans.
Accuracy of computer-guided surgery: A comparison of operator experience
J Prosthet Dent. 2015 Sep; 114(3): 407–413
- 28: Baudoin, Bennani et Touati.
Un projet prothétique en implantologie.
Paris: Quintessence international, 2003 : 133
- 29: Dr Luc Manhès & Dr Guillaume Fougerais
Pourquoi avoir recours à un guide chirurgical pour placer un implant ?
France DT STUDY CLUB JANVIER 2015

- 30: Dada K.
Planification et chirurgie implantaire chez l'édenté complet.
Réalités Cliniques. 2013 ; 24(1) : 17–36.
- 31: Dreiseidler T., Neugebauer J., Ritter L., et al.
Accuracy of a newly developed integrated system for dental implant planning.
Clinical Oral Implants Research. 2009;20(11):1191–1199
- 32: 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.
- 33: M. Cassetta, G. Pompa, S. Di Carlo, L. Piccoli, A. Pacifici, L. Pacifici.
The influence of smoking and surgical technique on the accuracy of mucosa-supported stereolithographic surgical guide in complete edentulous upper jaws .
European Review for Medical and Pharmacological Sciences .2012; 16: 1546-1553
- 34: Turbush SK, Turkyilmaz I.
Accuracy of three different types of stereolithographic surgical guide in implant placement: an in vitro study.
J Prosthet Dent. sept 2012;108(3):181-188.
- 35: Ozan O. et al.
Clinical Accuracy of 3 Different Types of Computed Tomography-Derived Stereolithographic Surgical Guides in Implant Placement.
Journal of Oral and Maxillofacial Surgery 67.2 (2009): 394–401
- 36: Szmulker-Moncler S., Davarpanah K. et Davarpanah M.
Implantologie assistée par ordinateur.
Rueil-Malmaison: Éd. CdP, 2010, Collection JPIO : 241
- 37: D'haese J. et al.
Accuracy and Complications Using Computer-designed Stereolithographic Surgical Guides for Oral Rehabilitation by Means of Dental Implants: a Review of the Literature.
Clinical implant dentistry and related research 14.3 (2012): 321–335.
- 38: Cassetta, M., Di Mambro A. et al.
The Intrinsic Error of a Stereolithographic Surgical Template in Implant Guided Surgery.
Int J Oral Maxillofac Surg 11 Jul (2012) : 4(1) : 39-45
- 39: Tahmaseb A, Wismeijer D, Coucke W, Derksen W.
Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review.
Int J Oral Maxillofac Implants 2014;29:25-42.

- 40: Turbush SK, Turkyilmaz I.
Accuracy of three different types of stereolithographic surgical guide in implant placement: an in vitro study.
J Prosthet Dent. sept 2012;108(3):181-188.
- 41: Ozan O. et al.
Clinical Accuracy of 3 Different Types of Computed Tomography-Derived Stereolithographic Surgical Guides in Implant Placement.
Journal of Oral and Maxillofacial Surgery 67.2 (2009): 394–401
- 42: Susanne Platzer DDS, Georg Bertha MD, DDS, Alexander Heschl DMS, DDS, Walther A. Wegscheider MD, PHD, DDS, Martin Lorenzoni MD, PHD, DDS
Three-Dimensional Accuracy of Guided Implant Placement: Indirect Assessment of Clinical Outcomes
Clinical Implant Dentistry and Related Research, Volume 15, Issue 5 October 2013 Pages 724–734
- 43: Jan D'haese DDS, MSc, Tommie Van De Velde DDS, MSc, PhD, Ai Komiyama DDS, Margaretha Hultin DDS, PhD, Hugo De Bruyn DDS, MSc, PhD.
Accuracy and Complications Using Computer-Designed Stereolithographic Surgical Guides for Oral Rehabilitation by Means of Dental Implants: A Review of the Literature
Clinical Implant Dentistry and Related Research, 21 December 2016
- 44: Xue Zhu ZHAO, Wei Hua XU, Zhi Hui TANG, Min Jie WU, Jie ZHU, Si CHEN
Accuracy of Computer-Guided Implant Surgery by a CAD/CAM and Laser Scanning Technique
The Chinese Journal of Dental Research; Volume 17, Number 1, 2014
- 45: Giovanni Di Giacomo, Jorge Silva, Rodrigo Martines, Sergio Ajzen
Computer-designed selective laser sintering surgical guide and immediate loading dental implants with definitive prosthesis in edentulous patient: A preliminary method
Eur J Dent. 2014 Jan-Mar; 8(1): 100–106
- 46: Dreiseidler T. et al.
Accuracy of a newly developed open-source system for dental implant planning.
Int J Oral Maxillofac Implants 2012 Jan-Feb; 27(1): 128-37.
- 47: Cassetta M et coll.
The use of stereolithographic surgical templates in oral implantology.
Ann Ital Chir 2013; 84 (5): 589-593
- 48: Polizzi G, Cantoni T.
Five-Year Follow-Up of Immediate Fixed Restorations of Maxillary Implants Inserted in Both Fresh Extraction and Healed Sites Using the NobelGuide™ System: Guided Surgery Postextractive Immediate Loading.
Clinical Implant Dentistry and Related Research. 2013 ; n/a – n/a

- 49: Szmulker-Moncler S., Davarpanah K. et Davarpanah M.
Implantologie assistée par ordinateur.
Rueil-Malmaison: Éd. CdP, 2010, Collection JPIO : 241
- 50:Cassetta M et coll.
The use of stereolithographic surgical templates in oral implantology.
Ann Ital Chir 2013; 84 (5): 589-593
- 50: M. Hultin, K. G. Svensson, and M. Trulsson,
Clinical advantages of computer-guided implant placement: a systematic review.
Clinical Oral Implants Research, vol. 23, pp. 124–135, 2012.
- 51: Vercruyssen M, Laleman I, Jacobs R, Quirynen M
Computer-supported implant planning and guided surgery: a narrative review.
Clin Oral Implants Res. 2015 Sep;26 Suppl 11:69-76. doi: 10.1111/clr.12638.
- 52: : Tabea Viktoria Flügge, Katja Nelson, Rainer Schmelzeisen, Marc Christian Metzger
Three-Dimensional Plotting and Printing of an Implant Drilling Guide: Simplifying Guided Implant Surgery
Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, August 2013, Pages 1340-1346
- 53: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.
- 54:Pascual D, Vaysse J.
Guided and computer-assisted implant surgery and prosthetic: The continuous digital workflow.
Rev Stomatol Chir Maxillofac Chir Orale. 2016 Feb;117(1):28-35.
- 55:Komiyama, A., Klinge, B. & Hultin, M.
Treatment outcome of immediately loaded implants installed in edentulous jaws following computer-assisted virtual treatment planning and flapless surgery.
Clinical Oral Implants Research 19: 677–685. (2008)
- 56:Malo P, Nobre M, Lopes A.
The use of computer-guided flapless implant surgery and four implants placed in immediate function to support a fixed denture: preliminary results after a mean follow-up period of thirteen months.
J Prosthet Dent 2007; 97:26–34.
- 57:Lal K, White GS, Morea DN, Wright RF.
Use of stereolithographic templates for surgical and prosthodontic implant planning and placement. Part I. The concept.
J Prosthodont 2006; 15:51–58.

58: Lal K, White GS, Morea DN, Wright RF.

Use of stereolithographic templates for surgical and prosthodontic implant planning and placement. Part II.

A clinical report. J Prosthodont 2006; 15:117–122

60: Shin-Young Youk, Jee-Ho Lee, Ji-Man Park, Seong-Joo Heo, Hyun-Ki Roh, Eun-Jin Park, Im Hee Shin.

A survey of the satisfaction of patients who have undergone implant surgery with and without employing a computer-guided implant surgical template .

J Adv Prosthodont 2014;6:395-405

61: D'Haese J. et al.

Accuracy and Complications Using Computer-designed Stereolithographic Surgical Guides for Oral Rehabilitation by Means of Dental Implants: a Review of the Literature.

Clinical implant dentistry and related research 14.3 (2012): 321–335.

62: Yong, L.T. & Moy, P.K.

Complications of computer-aided-design/computer-aided-machiningguided (nobelguidetrade mark) surgical implant placement: an evaluation of early clinical results.

Clinical Implant Dentistry & Related Research 10: 123–127. (2008)

63: Seong-Yong Moon, Kyoung-Rok Lee, Su-Gwan Kim and Mee-Kyoung Son

Clinical problems of computer-guided implant surgery.

Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery 2016 38:15

64: Alex Bidoche, Christophe Chaput , Richard Gaignon

3DCeram ou l'impression 3D appliquée à la céramique

3D Native 9 août 2016

IX. Figures

1: Utilisez-vous la chirurgie guidée?

Schéma issu des données recueillies de l'étude du Dr Cohen N.
Etat des lieux de l'implantologie en France
Le fil dentaire, 20 Novembre 2015

2: Avez-vous fait l'acquisition d'un cône beam?

Schéma issu des données recueillies de l'étude du Dr Cohen N.
Etat des lieux de l'implantologie en France
Le fil dentaire, 20 Novembre 2015

3: Principaux freins à l'utilisation de la chirurgie guidée.

Schéma issu des données recueillies de l'étude du Dr Cohen N.
Etat des lieux de l'implantologie en France
Le fil dentaire, 20 Novembre 2015

4: Conversion des données numériques en données utilisables pour l'impression 3D

DIRECCTE Centre, en partenariat avec CCI Centre ,
L'impression 3D, enjeux et perspective
Décembre 2014

5: Technique FDM

Anthony W. COLEMAN et Laurent MOLLE
Impression 3D et Imprimantes 3D
Site internet du CNRS publié le 19 juillet 2016

6: Technique Polyjet

Gaëtan Lefebvre
L'impression 3D par Polyjet
A3DM Magazine Février 2015

7: Technique de la Stéréolithographie

Mathilde Berchon
L'impression 3D 2eme Edition
Editions Eyrolles, 17 juil. 2014

8: Principe DLP

Mathilde Berchon

L'impression 3D 2eme Edition

Editions Eyrolles, 17 juil. 2014

9: Technique d'impression 3D par FSL/SLS

Kyle Stetz

Rapid prototyping study 08/22/2009

10: Bobines d'ABS

Mathilde Berchon

L'impression 3D 2eme Edition

Editions Eyrolles, 17 juil. 2014

11: Impression d'aluminium et de plastique ABS

Mathilde Berchon

L'impression 3D 2eme Edition

Editions Eyrolles, 17 juil. 2014

12: Oreille humaine imprimée en 3D

Pauline Fréoure

Une oreille ouvre la voie aux organes imprimés en 3D

Le Figaro Magazine Publié le 18/02/2016

13-24: Captures d'écran

Logiciel Blue Sky Plan

25: Guide à appuis dentaires

Photo du Dr Brothier Julien

26: Les guides chirurgicaux à appuis muqueux:

Dr Luc Manhès & Dr Guillaume Fougerais

Pourquoi avoir recours à un guide chirurgical pour placer un implant ?

Dental Tribune DT Study Club Le magazine janvier 2015

27: Guide à appuis osseux:

Dr Luc Manhès & Dr Guillaume Fougerais

Pourquoi avoir recours à un guide chirurgical pour placer un implant ?

Dental Tribune DT Study Club Le magazine janvier 2015

28: Déviation possible d'un implant:

Figure inspirée de l'article des docteurs Harmik MINASSIAN Laken MOSSOT

Chirurgie guidée, s'y fier ou s'en méfier?

Lefildentaire.com

29: Précision selon le types d'appuis

Tableau réalisé pour cette thèse par moi-même

30: Moyenne des variations constatées lors de la revue systématique pour le placement d'implant par chirurgie guidée

Tableau réalisé pour cette thèse par moi-même

31: Moyenne des variations constatées lors de l'étude en chirurgie full-guided

Tableau réalisé pour cette thèse par moi-même

32: Coût du circuit de production de guides chirurgicaux au cabinet

Tableau réalisé pour cette thèse par moi-même

33: Circuit de production d'un guide chirurgical "classique"

Schéma réalisé pour cette thèse par moi-même

34: Circuit de production par IAO

Schéma réalisé pour cette thèse par moi-même

35: Circuit de production au sein du cabinet

Schéma réalisé pour cette thèse par moi-même

36: Photo d'une imprimante Formlab Form2

Site Marchand Formlab

L'ensemble des photos des cas cliniques ont été fournis par le Dr Brothier.

Vu, Le Président du Jury,

Date, Signature :

Vu, la Directrice de l'UFR des Sciences Odontologiques,

Date, Signature :

Vu, le Président de l'Université de Bordeaux,

Date, Signature :

Collège des Sciences de la Santé

UFR des Sciences Odontologiques

Serment

En présence de mes Maîtres et de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de l'art dentaire.

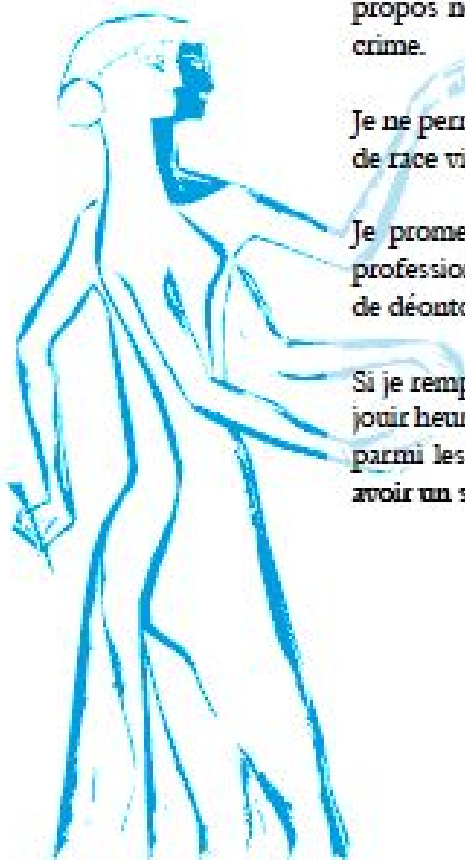
Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un honoraire au-dessus de mon travail. Ma langue taira les secrets qui me seront confiés. Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe.

Mes connaissances et mon état ne serviront ni à diffuser des propos non avérés, ni à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des conditions de croyance, de nation et de race viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je promets et je jure de conformer strictement ma conduite professionnelle aux principes et aux règles prescrites par le code de déontologie.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir heureusement de la vie et de ma profession, honoré à jamais parmi les hommes. Si je le viole et que je me parjure, puisse-je avoir un sort contraire.



Maxime Larripa

Le 13/03/2018

Thèse pour l'obtention du DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR en CHIRURGIE DENTAIRE 2018 n°17

Discipline: Chirurgie implantaire

Guide chirurgical implantaire par stéréolithographie : Planification numérique par le logiciel Blue Sky Plan® et impression 3D au cabinet dentaire.

Résumé:

L'impression 3D s'imisce progressivement dans tous les secteurs de production de notre société moderne. Une technologie révolutionnaire qui nous permet d'accéder de façon plus directe à la conception de nos outils d'aujourd'hui et de demain.

Parmi les applications en cabinet possibles, c'est l'impression de guides chirurgicaux pour l'implantologie réalisés par stéréolithographie qui va nous intéresser.

Après avoir décrit les différentes techniques d'impression 3D, le logiciel de planification Blue Sky Plan sera lui aussi décrit avec un accompagnement pas à pas d'un cas général.

Une présentation de la chirurgie guidée, de ses avantages et de ses inconvénient ainsi que les différents guides permettant sa mise en place fera office de deuxième partie à l'aide d'une revue bibliographique.

Enfin, des cas cliniques viendront illustrer l'ensemble des données avancées.

Mots clés: Stéréolithographie, Impression 3D, Guides chirurgicaux, Chirurgie guidée

Stereolithographic surgical template : contribution of the 3D printing and Blue Sky Plan® software in our dental offices.

Summary:

Our modern society is more and more impacted in all aspects by this new concept of 3D printing. This revolutionary technology allows us to be part of the conception of today's and tomorrow's tools.

Among all the many possible applications in dental office, we are going to take a look at stereolithographic surgical template for implantology.

After explaining different 3D printing technics, planning software Blue Sky Plan will be describe step by step through an exemple.

Then, guided surgery upsides and downsides as well as its different types of templates will be shown using a systematic review.

Finally, it's by using some practical cases that we'll illustrate the whole subject.

Key words: Stereolithography, 3D Printing, Surgical Templates, Guided surgery

Université de Bordeaux – Collège des Sciences de la Santé

UFR des Sciences Odontologiques

16-20 Cours de la Marne

33082 BORDEAUX CEDEX