



HAL
open science

Le guide chirurgical implantaire à étages : une solution aux limites des guides chirurgicaux implantaires conventionnels ?

Camille Marteau

► To cite this version:

Camille Marteau. Le guide chirurgical implantaire à étages : une solution aux limites des guides chirurgicaux implantaires conventionnels ?. Chirurgie. 2022. dumas-03720860

HAL Id: dumas-03720860

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03720860v1>

Submitted on 12 Jul 2022

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

THESE

***POUR OBTENIR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE***

Présentée et publiquement soutenue devant

Aix-Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales
(Doyen : Monsieur le Professeur Georges LEONETTI)

Ecole de Médecine Dentaire
(Directeur : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

Le guide chirurgical implantaire à étages : une solution aux limites des guides chirurgicaux implantaires conventionnels ?

Présentée par

MARTEAU Camille

Née le 22/07/1996

A Bruges

Thèse soutenue le : **30 Mai 2022**

Devant le jury composé de

Président : Professeur RUQUET Michel

Assesseurs : Docteur LAN Romain

Docteur MENSE Chloé

Docteur SILVESTRI Frédéric

Invité : Docteur TAVITIAN Patrick

THESE

***POUR OBTENIR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE***

Présentée et publiquement soutenue devant

Aix-Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales
(Doyen : Monsieur le Professeur Georges LEONETTI)

Ecole de Médecine Dentaire
(Directeur : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

Le guide chirurgical implantaire à étages : une solution aux limites des guides chirurgicaux implantaires conventionnels ?

Présentée par

MARTEAU Camille

Née le 22/07/1996

A Bruges

Thèse soutenue le : **30 mai 2022**

Devant le jury composé de

Président : Professeur RUQUET Michel

Assesseurs : Docteur LAN Romain

Docteur MENSE Chloé

Docteur SILVESTRI Frédéric

Invité : Docteur TAVITIAN Patrick

ADMINISTRATION

Doyens Honoraires

Professeur	Raymond SANGIUOLO†
Professeur	Henry ZATTARA
Professeur	André SALVADORI
Professeur	Jacques DEJOU

Directeur

Professeur	Bruno FOTI
------------	------------

Directeurs adjoints

Professeur	Michel RUQUET
Professeur	Anne RASKIN

Chargés de missions

Formation Initiale

Professeur	Michel RUQUET
------------	---------------

Recherche

Professeur	Anne RASKIN
------------	-------------

Formation Continue

Professeur	Frédéric BUKIET
------------	-----------------

Relations Internationales

Professeur	Hervé TASSERY
------------	---------------

Internat et Diplômes d'études spécialisées

Professeur	Virginie MONNET-CORTI
------------	-----------------------

Affaires générales

Docteur	Patrick TAVITIAN
---------	------------------

Responsable Administrative

Madame	Katia LEONI
--------	-------------

PROMOTIONS :

2019 Raymond SANGIUOLO

2020 Gaston BERGER

2021 Joseph MIGOZZI

LISTE DES ENSEIGNANTS

PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD

BUKIET Frédéric (58-01)
FOTI Bruno (58-02)
LE GALL Michel (56-01)
MONNET-CORTI Virginie (57-01)
RASKIN Anne (58-01)
RUQUET Michel (58-01)
TARDIEU Corinne (56-01)
TARDIVO Delphine (56-02)
TASSERY Hervé (58-01)
TERRER Elodie (58-01)

PROFESSEUR DES UNIVERSITES

ABOUT Imad (65)

PROFESSEURS EMERITES

DEJOU Jacques (58-01)
HUE Olivier (58-01)

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD

ABOUDHARAM Gérard (58-01)	LAN Romain (56-02)
BANDON Daniel (56-01)	LAURENT Michel (58-01)
BELLONI Didier (57-01)	MAILLE Gérald (58-01)
BOHAR Jacques (56-01)	MENSE Chloé (58-01)
CAMOIN Ariane (56-01)	PHILIP-ALLIEZ Camille (56-01)
CAMPANA Fabrice (57-01)	POMMEL Ludovic (58-01)
CATHERINE Jean-Hugues (57-01)	PRECKEL Bernard-Éric (58-01)
GAUBERT Jacques (56-01)	RÉ Jean-Philippe (58-01)
GIRAUD Thomas (58-01)	ROCHE-POGGI Philippe (57-01)
GIRAUDEAU Anne (58-01)	STEPHAN Grégory (58-01)
GUIVARC'H Maud (58-01)	TAVITIAN Patrick (58-01)
JACQUOT Bruno (58-01)	TOSELLO Alain (58-01)
LABORDE Gilles (58-01)	

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES ASSOCIES

BALLESTER Benoît (58-01)
BLANCHET Isabelle (58-01)
CASAZZA Estelle (58-01)

ASSISTANTS HOSPITALIERS ET UNIVERSITAIRES

ANTEZACK Angeline (57-01)

ARNIER Canelle (56-01)

BAUDINET Thomas (58-01)

BRINCAT Arthur (57-01)

BROS Agnès (56-01)

CHIARINI Thomas (58-01)

DUPRAT Florence (56-01)

FAURE-BRAC Mathias (57-01)

FERRE Enzo (58-01)

FOUQUES Agathe (56-01)

HAMMOUTENE Stéphane (57-01)

LAFONT Jacinthe (57-01)

LAURENT Camille (58-01)

LIOTARD Alicia (58-01)

MADENIAN Pauline (58-01)

MANSUY Charlotte (58-01)

MARCHAL Paul (58-01)

MARTIN William (56-01)

ONGHENA Tom (56-01)

PASCHEL Laura (58-01)

PILLIOL Virginie (58-01)

PRINCE Fanny (57-01)

RAYNAUD Camille (58-01)

REYNAL Florence (56-01)

ROMAO Vincent (57-01)

ROUSCOFF Eva (57-01)

SADOWSKI Camille (57-01)

VEILLARD Pierre (56-01)

ASSISTANT DES UNIVERSITES ASSOCIE

GRINE Ghilès (57-01)

Intitulés des sections CNU :

56^{ème} section : Développement, croissance et prévention

56-01 Odontologie pédiatrique et orthopédie dento-faciale

56-02 : Prévention – Epidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale

57^{ème} section : Chirurgie orale, Parodontologie, Biologie Orale

57-01 : Chirurgie orale – Parodontologie – Biologie orale

58^{ème} section : Réhabilitation orale

58-01 : Dentisterie restauratrice – Endodontie – Prothèses – Fonction-Dysfonction – Imagerie – Biomatériaux

L'auteur s'engage à respecter les droits des tiers, et notamment les droits de propriété intellectuelle. Dans l'hypothèse où la thèse comporterait des éléments protégés par un droit quelconque, l'auteur doit solliciter les autorisations nécessaires à leur utilisation, leur reproduction et leur représentation auprès du ou des titulaires des droits. L'auteur est responsable du contenu de sa thèse. Il garantit l'Université contre tout recours. Elle ne pourra en aucun cas être tenue responsable de l'atteinte aux droits d'un tiers

À M. le Professeur Michel Ruquet

Professeur des Universités

Merci de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury.
Je souhaite également vous remercier pour votre accueil au sein
du service de prothèse et votre bienveillance à notre égard.
Veuillez trouver en ces mots l'expression de mon plus grand
respect et de ma plus profonde gratitude.

À M. le Docteur Romain Lan

Maître de Conférences des Universités

Merci d'avoir accepté de siéger dans ce jury.

Je souhaite également te remercier pour ton implication auprès des internes, ton envie de transmettre et ta bonne humeur !

C'est un plaisir d'apprendre à tes côtés !

Trouve dans ces mots le témoignage de mon plus grand respect et de ma plus profonde gratitude.

À Mme le Docteur Chloé Mense

Maître de Conférences des Universités

Merci d'avoir accepté de siéger dans ce jury.

Je souhaite également te remercier pour ton enseignement, ta disponibilité et ta bienveillance à l'hôpital. Travailler à tes côtés est toujours un plaisir !

Trouve dans ces mots le témoignage de mon plus grand respect et de ma plus profonde gratitude.

À M. le Docteur Frédéric Silvestri

Maître de Conférences des Universités

Merci de m'avoir fait l'honneur de diriger ce travail de thèse.
Je souhaite également vous remercier pour vos précieux conseils
à la clinique et votre présence aux côtés des internes.
Veuillez trouver en ces mots l'expression de mon plus grand
respect et de ma plus profonde gratitude.

À M. le Docteur Patrick Tavitian

Maître de Conférences des Universités

Merci d'avoir accepté si spontanément de faire part de ce jury. Je tiens à vous remercier pour votre dévouement envers le service d'implantologie, votre envie de transmettre et votre pédagogie.

Veillez trouver en ces mots l'expression de mon plus grand respect et de ma plus profonde gratitude.

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
I. L'IMPLANTOLOGIE ORALE ASSISTEE PAR ORDINATEUR.....	2
1) Généralités :	2
a. Qu'est-ce que l'implantologie orale assistée par ordinateur ?	2
b. Quels en sont les objectifs ?.....	2
c. Pourquoi guider la chirurgie implantaire ?.....	3
d. L'évolution de la planification implantaire.....	4
2) La planification implantaire dynamique	5
a. Définition	5
b. Intérêts	7
3) La planification implantaire statique :.....	11
a. Définition	11
b. Évolution	11
c. Intérêts	11
d. Fabrication des guides chirurgicaux	12
e. Classifications des guides chirurgicaux	17
4) La conception de prothèse provisoire par CFAO	20
II. DU GUIDE CONVENTIONNEL AU GUIDE A ETAGES.....	21
1) Les guides conventionnels.....	21
a. Généralités.....	21
b. Limites des guides conventionnels.....	21
2) Le guide à étages	26
a. Généralités.....	26
b. Conception	29
III. LE GUIDE A ETAGE : REVUE DE LA LITTERATURE.....	30
1) Contexte	30
2) Objectif	31
3) Matériel et méthodes	31
a. Critères d'inclusion	31
b. Critères d'exclusion	32
c. Méthode de recherche des études	32
d. Collecte des données et analyse	33
4) Résultats	38
a. Description des études	38
b. Qualité des études incluses	38
c. Données brutes	38
5) Discussion	40
6) Implications en pratique	45
CONCLUSION.....	46
TABLE DES FIGURES.....	A
BIBLIOGRAPHIE	I

Introduction

De nos jours, l'accès à l'information et l'évolution de la société fait que la demande de nos patients ne cesse d'augmenter, tant sur le point esthétique que fonctionnel.

Le domaine de l'implantologie ayant fait d'énormes progrès au cours des dernières années, cette solution thérapeutique est de plus en plus proposée à nos patients et fait partie du quotidien du chirurgien-dentiste.

Ceci implique que les praticiens sont poussés à inventer de nouvelles techniques pour répondre à la demande des patients.

L'arrivée de l'informatique et plus récemment du numérique au service de la dentisterie, a participé à repousser ces limites en permettant au chirurgien-dentiste d'assurer une meilleure prédictibilité et reproductibilité de ses réhabilitations implantaires.

L'expérience du praticien et son sens clinique sont bien sûr toujours indispensables à la réalisation de ces réhabilitations implantaires mais ces aides virtuelles ont montré une grande évolution et ont permis d'améliorer le taux de réussite de ces techniques.

En effet, certains logiciels permettent une planification préalable en trois dimensions du projet prothétique représentant le projet final, ainsi que la conception de guides permettant d'aider le chirurgien dans la pose de l'implant.

Cependant, ces protocoles de planification ne sont pas encore systématisés et restent limités dans certaines situations.

De nouvelles techniques prometteuses voient le jour comme le guide chirurgical à étage que nous allons présenter dans ce travail.

I. L'implantologie orale assistée par ordinateur

1) Généralités :

a. Qu'est-ce que l'implantologie orale assistée par ordinateur ?

L'implantologie orale assistée par ordinateur consiste en une analyse et modélisation informatique permettant de préparer la chirurgie implantaire ainsi que le projet prothétique en amont de tout acte réalisé. Elle fait suite à l'ensemble des éléments cliniques collectés par le chirurgien-dentiste au cours de l'interrogatoire, de l'examen clinique et de l'étude des éléments radiographiques.

Trois indications en découlent :

- La reconnaissance des sites d'intervention avant la chirurgie permettant la planification du plan de traitement
- La chirurgie guidée proprement dite avec le guide chirurgical qui consiste en une aide au geste chirurgical pour la pose des implants
- La préparation des couronnes provisoires par CFAO en amont de la chirurgie

b. Quels en sont les objectifs ?

L'objectif majeur de la chirurgie guidée concerne la précision afin de respecter la planification préalable et sécuriser l'intervention en respectant les marges de sécurité vis-à-vis des éléments anatomiques nobles adjacents. En effet, le chirurgien-dentiste tend à obtenir la meilleure précision lors de tout acte chirurgical et particulièrement en chirurgie implantaire car ce n'est qu'une étape dans le projet prothétique global qui permettra in fine de rétablir fonction et esthétique.

Ainsi la planification implantaire permet d'améliorer la précision de l'acte chirurgical en déterminant le meilleur axe, longueur, largeur, forme, position de l'implant via l'analyse 3D de la situation clinique. La conception des guides chirurgicaux permet ensuite de respecter ce projet prothétique tel que planifié en amont.

Les impératifs esthétiques, de stabilité à long terme des tissus péri-implantaires (durs ou mous), d'occlusion équilibrée, de mise en charge optimale ainsi qu'une hygiène facilitée sont ainsi plus facilement respectés. (1)

c. Pourquoi guider la chirurgie implantaire ?

Comme expliqué précédemment, l'implant a pour but d'être support de prothèse afin de rétablir fonction et esthétique. Ce n'est donc qu'une étape dans le projet global de réhabilitation.

Il est donc primordial de savoir en amont de la pose de l'implant comment sera la future prothèse et comment doit être positionné son support (l'implant).

La planification 3D permet cette modélisation et l'utilisation de guides chirurgicaux permet de s'approcher au plus près de cette dernière.

L'analyse 3D préalable de la situation clinique permet d'exploiter au mieux l'anatomie et la quantité osseuse ainsi que de repérer les éléments anatomiques nobles et d'en respecter les distances de sécurité.

De plus, les indications cliniques étant plus étendues, cette aide informatique permet de repousser les limites en ayant une meilleure visualisation du cas clinique.

Le confort du praticien, voyant sa reproductibilité et prédictibilité augmentées, en est de fait plus important.

Le confort du patient est aussi meilleur grâce au gain de temps opératoire et à la possibilité de s'abstenir de lambeau dans certaines situations (diminution des morbidités post opératoires).

Il ressort de la littérature qu'en cas de planification dynamique préalable, les résultats en termes de positionnement de l'implant sont meilleurs que dans des cas traités sans planification.(2) Il en est de même pour la planification statique, de meilleurs résultats sont démontrés en cas de l'utilisation d'un guide chirurgical ; d'après la méta-analyse et revue systématique de Tahmaseb et al., la différence est significative : déviation moyenne de 1,2mm au point d'entrée, 1,4mm à l'apex et 3,5° de déviation globale de l'implant. (3)(4)

Cette dernière est évaluée à travers plusieurs mesures : l'angulation générale de l'implant, la déviation au point le plus cervical de l'implant ainsi que la déviation au point le plus apical de l'implant.

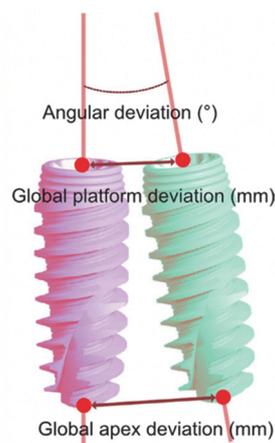


Figure 1 : superposition radiographique pré et post opératoire (5)

Guided comparison	DN			FG			HG						FH					
	A	PDS	CHT	A	PDS	CHT	DRILL GUIDED			PILOT-DRILL GUIDED			NON-COMPUTER GUIDED			A	PDS	CHT
							A	PDS	CHT	A	PDS	CHT	A	PDS	CHT			
DN																		
FG																		
HG	DRILL GUIDED			FG			DRILL GUIDED			PILOT-DRILL GUIDED			NON-COMPUTER GUIDED			FH		
	DRILL GUIDED			FG			DRILL GUIDED			PILOT-DRILL GUIDED			NON-COMPUTER GUIDED			FH		
	DRILL GUIDED			FG			DRILL GUIDED			PILOT-DRILL GUIDED			NON-COMPUTER GUIDED			FH		
FH																		

LEGEND TABLE 1

LEGEND	
DYNAMIC NAVIGATION	DN
FULL-GUIDED	FG
HALF-GUIDED	HG
FREE-HAND	FH
ACCURACY	A
PAIN-DISCOMFORT-SWELLING	PDS
CHAIR TIME	CHT
BETTER	
SIMILAR	
WORSE	
LACK OF DATA	

Fig. 3. Implant navigation approach comparison.

Figure 2 : comparaison de la précision des guides en fonction de leur tissu de support (4)

d. L'évolution de la planification implantaire

Avant l'apparition de l'imagerie en trois dimensions, l'étude des structures osseuses et anatomiques était réalisée sur des clichés en deux dimensions tels que l'orthopantomogramme et le cliché rétro-alvéolaire. Aucune information sur le volume osseux n'étant donné par la radiographie, seules l'observation et la palpation cliniques étaient disponibles pour indiquer au praticien l'anatomie 3D de l'os présent. De plus, concernant l'orthopantomogramme, les clichés présentent des superpositions, nombreux artefacts ainsi que des distorsions allant de 1,3 à 1,7 (liés à l'étalement de l'image sur la surface plane du film). En effet, la définition de ces images radiographiques est bien moins précise que celles d'un cliché rétro-alvéolaire, il est cependant impossible d'utiliser un cliché sans vue d'ensemble pour la planification implantaire.

Plus tard, avec l'arrivée du scanner, des calques implantaires distribués par les différentes marques commerciales étaient superposés sur les coupes anatomiques d'échelle réelle 1/1.

Le scanner est une technique d'imagerie médicale qui consiste à mesurer l'absorption des rayons X par les tissus puis, par traitement informatique à numériser et enfin à reconstruire des images en 2D ou 3D. Pour acquérir une analyse par coupes, le patient est soumis à un balayage d'un faisceau de rayons X.

L'idée théorique a été connue dès le début du XXème siècle mais ce n'est qu'en 1970 (grâce à Godfrey Newbold Hounsfield et Allan MacLeod Cormack) qu'apparaissent les

premiers imageurs couplés à des ordinateurs suffisamment puissants pour être capables de réaliser rapidement les calculs nécessaires à la reconstruction des images.

Les choix du diamètre, de la longueur, de la forme, de l'axe et du positionnement de l'implant étaient alors possibles. Cependant le projet prothétique ne pouvait pas être superposé au volume osseux afin d'optimiser le placement de l'implant.

Dans les années 90, une nouvelle technique d'imagerie fait son apparition.

Le cone beam, ou imagerie volumétrique par faisceau conique, ou encore CBCT (*cone beam comput tomography*) est une technique de tomodensitométrie permettant de produire une radiographie numérisée. Il est considéré comme un progrès pour l'imagerie médicale car diminue de 2 à 4 fois la dose d'irradiation. Il utilise un faisceau conique de rayons X permettant de mettre en évidence de façon précise (de l'ordre du millimètre) les tissus minéralisés, les lésions osseuses et les sinus. Il apparaît en 1994 grâce aux inventeurs italiens Attilio Tacconi, Piero Mozzo, Daniele Godi et Giordano Ronca. Il fut d'abord commercialisé en Europe en 1996 puis en Amérique en 2001.

Une machine tournant autour de la tête effectue, en un seul balayage rotatif de 200 degrés, un faisceau d'irradiation conique pour construire un panoramique dentaire d'une résolution similaire à celle du scanner, tout en permettant une reconstitution 3D numérique.

Concomitamment à cette découverte révolutionnaire, l'essor de l'informatique au service de la dentisterie a permis la création et le transfert du fichier DICOm (*digital imaging and communications on medicine*) sur des logiciels de planification implantaire nouvellement créés. En effet, en 1988, Columbia scientific inc (Glen burnie, MD, USA) a présenté pour la première fois un logiciel de visualisation trois dimensions dentaire.

La navigation virtuelle 3D est alors devenue possible et ne cesse de progresser encore aujourd'hui. (4)

2) La planification implantaire dynamique :

a. Définition :

La planification implantaire dynamique correspond à l'étape informatique où le fichier DICOm provenant de l'examen radiographique par CBCT est visualisé sur un logiciel dédié à cet usage. Le site chirurgical est alors visualisé à l'aide de coupes anatomiques dans les 3 sens de l'espace.

L'échelle anatomique étant respectée (1/1), une « visite 3D » du site opératoire peut donc être réalisée en amont de la chirurgie permettant de gagner en assurance et sécurité. En effet, la visualisation du site opératoire avant la chirurgie permet de repérer les éléments anatomiques nobles afin d'éviter tout écueil durant l'intervention chirurgicale.

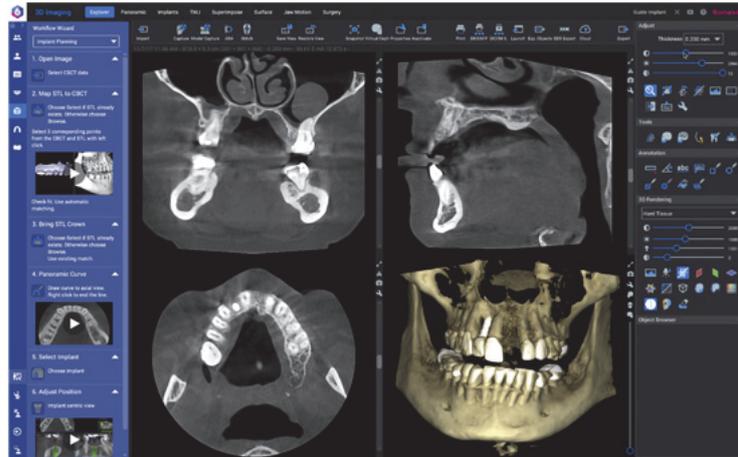


Figure 3 : capture d'écran d'une planification. Source : Planmeca.com

La planification implantaire dynamique nécessite un autre intermédiaire essentiel : le fichier STL. C'est un format né il y a un peu plus de 20 ans, avec l'arrivée des techniques de fabrication additive. La première technique commercialisée par la société 3D systems fut la stéréolithographie (d'où l'abréviation « STL »). Les systèmes de numérisation 3D, utilisés en début de chaîne numérique par les prothésistes pour digitaliser les modèles en plâtre réalisés à partir des empreintes dentaires du praticien, ou pour digitaliser directement l'empreinte, génèrent un maillage de points. Puis, ces derniers sont reliés entre eux pour constituer un modèle 3D par triangulation. Le modèle 3D, assimilé à un ensemble de polygones, est décrit par la liste des sommets et des arêtes. L'orientation des polygones permet de différencier l'extérieur et l'intérieur du modèle. La liste des sommets, des arêtes et de leur orientation est écrite en code Binaire ou ASCII pour être transférée vers les logiciels de modélisation 3D, sous le nom de format de fichier STL.

Ainsi, ce fichier Stl provient d'un scannage d'un wax up sur modèle en plâtre, usiné ou d'une empreinte optique. Il va être superposé au fichier DICOm afin d'obtenir l'assemblage des données à la fois muqueuses, osseuses et prothétiques. Il en découle alors une analyse complète de la situation clinique.

Dans le cas où la modélisation prothétique n'est pas réalisée par wax up, la technique du double scanner peut être utilisée. Elle correspond à la superposition de deux images 3D obtenues par CBCT, une avec le guide radiologique en bouche (préfigurant les dents radio-opaques positionnées idéalement) et une autre avec le guide radiologique seul dans la même orientation qu'en bouche. Les repères remarquables radio opaques permettent au logiciel de superposer les deux fichiers DICOm dans la même position.

Certains logiciels permettent aussi de créer un projet prothétique totalement virtuel ne nécessitant la réalisation d'aucun wax up ou guide radiologique préalable. Dans ces deux derniers cas, le fichier stl n'est pas nécessaire car l'information est directement disponible sur le logiciel de planification.

<u>Avantages</u>	<u>Inconvénients</u>
Seule, elle permet d'augmenter la précision du positionnement de l'implant p/r aux guides car elle permet de planifier le projet tout en laissant au praticien la possibilité de modifier la planification selon son sens clinique le jour de la pose	Une erreur de système peut tout fausser Il existe une courbe d'apprentissage

Figure 4 : tableau personnel : avantages et inconvénients de la planification dynamique

D'après un essai clinique randomisé d'Aydemir et Arisan (2020) mené sur 32 volontaires, la pose de 86 implants a été étudiée. On constate une différence significative ($p < 0,01$) entre la pose d'un implant avec l'aide d'une planification dynamique et à main levée en faveur de la planification 3D. En effet les déviations étaient en moyenne de 0,72mm au col de l'implant, 0,69mm à l'apex de l'implant et 5,33° de déviation générale de l'implant. (2)

b. Intérêts :

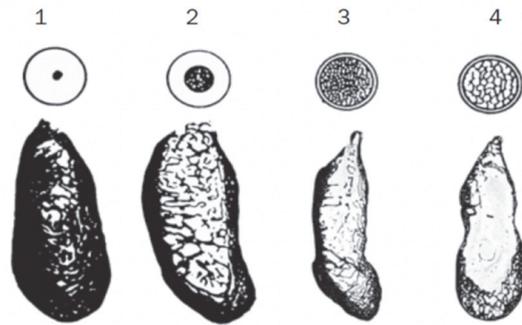
i. Reconnaissance anatomique

Cette navigation en trois dimensions permet d'apporter une reconnaissance du site de l'intervention chirurgicale grâce à un survol dynamique de tous les plans de l'espace ; différentes coupes reconstruites en volume 3D sont possibles ce qui donne simultanément une vue panoramique, axiale (mouvement apico-coronal), sagittale, oblique (vue des 2 arcades) ainsi qu'une reconstruction 3D en relief.

De plus, le repérage des obstacles anatomiques est possible ; cela concerne principalement le canal du nerf alvéolaire inférieur à la mandibule (tracé possible sur le logiciel), le trou mentonnier, ou encore la recherche d'une anomalie anatomique.

L'observation du volume osseux disponible en hauteur et largeur est alors possible grâce à une restitution réelle de la situation avec l'image tridimensionnelle.

La densité osseuse est aussi appréciable grâce à la visualisation du CBCT via la classification de Lekholm et Zarb (1985) (6) qui permet de distinguer différents types osseux en fonction de leur densité. Il en découle alors des informations précieuses sur la séquence de forage adéquate à utiliser.



Os de type 1 = os compact
 Os de type 2 = os compact et trabéculaire
 Os de type 3 = couche corticale fine avec de fines trabéculations
 Os de type 4 = os cortical fin entouré par l'os trabéculaire peu dense

Figure 5 : différents types osseux selon Lekholm et Zarb (6)

La qualité de l'os peut ainsi être discernée à l'aide de la classification de Misch (1993).

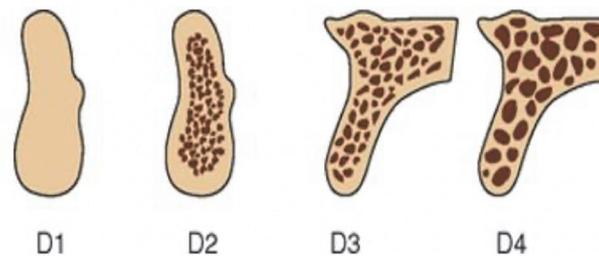


Figure : différentes qualités osseuses selon Misch (8)

- **Type D1** : C'est un os composé en quasi-totalité d'os cortical dense. Il présente une faible vascularisation.
- **Type D2** : C'est l'association d'une corticale dense et d'un os spongieux intermédiaire à l'intérieur. Il ne présente aucun inconvénient dans le domaine de l'implantologie.
- **Type D3** : Il s'agit d'un os constitué d'une corticale poreuse et d'un os spongieux de faible densité. La corticale vestibulaire au maxillaire est plus fine qu'ailleurs. Il présente un excellent apport sanguin. Il est difficile d'obtenir une bonne stabilité primaire : la cicatrisation doit être plus longue.
- **Type D4** : Cet os est caractérisé par une qualité tissulaire de très faible densité et une très fine couche corticale. (8)

L'unité de Hounsfield n'est utilisable que sur un scanner, le cône beam n'apportant pas une image exploitable pour cette mesure. (9)

ii. Adaptation au projet prothétique

Les logiciels de planification permettent la superposition des implants sur les bases osseuses sur un mode tridimensionnel. La plupart des logiciels sont équipés d'une bibliothèque importante d'implants et de systèmes implantaires afin d'offrir un large choix de la longueur, diamètre et forme des implants. Il est ensuite possible de vérifier la compatibilité du projet prothétique avec le volume osseux disponible grâce aux coupes dans les trois sens de l'espace.

La simulation de la pose d'implant permet de définir le positionnement implantaire par une superposition avec le projet prothétique (fichier stl correspondant au wax up ou au CBCT avec guide radiologique en place ou au projet virtuel sur le logiciel). L'orientation ainsi que la divergence des implants peut donc être analysée afin de valider la planification prothétique réalisée en amont. En effet, l'émergence des implants est souhaitée sur la face occlusale des dents postérieures et sur le cingulum des dents antérieures ; cette situation permet de laisser la face vestibulaire esthétique sans puits d'accès implantaire visible.

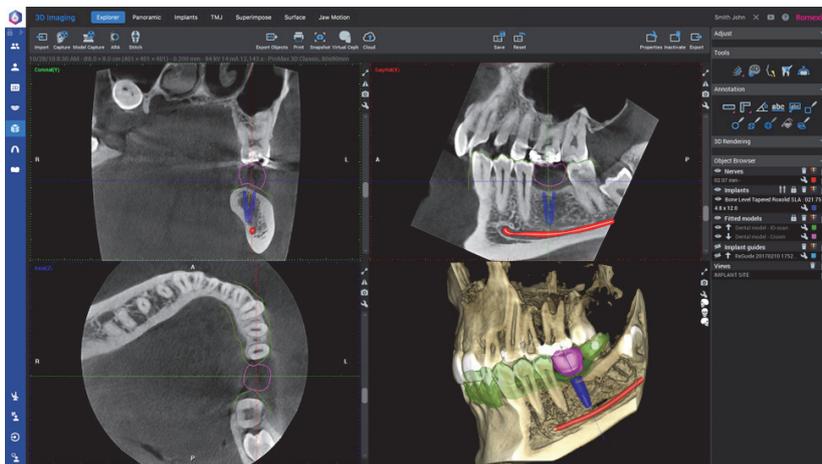


Figure 6 : capture d'écran d'une planification dynamique. Source : Planmeca.com

Le diamètre de l'implant est alors choisi afin d'éviter tant que possible une fenestration ainsi que pour respecter les distances de sécurité. Si le projet prothétique impose un axe implantaire dans une zone où l'os n'est pas présent en quantité suffisante, il faudra alors réaliser un aménagement pré implantaire par greffe osseuse.

Tableau récapitulatif des distances de sécurité

	Implant	Dent	Élément anatomique
Implant	3 mm	1,5 mm	2 mm

Figure 7 : tableau personnel : rappel des distances de sécurité

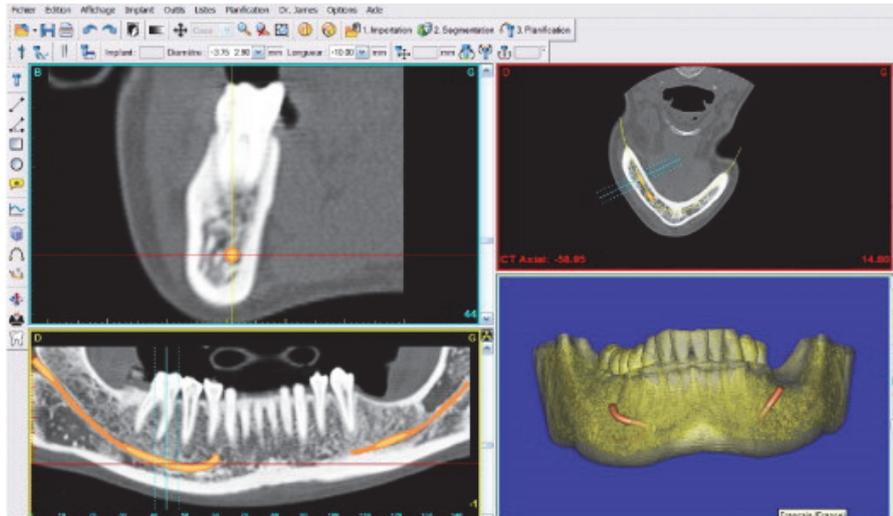


Figure 8 : marquage du trajet du nerf alvéolaire inférieur. Source : sciencesdirectes.com

Certains logiciels permettent aussi de déterminer le volume osseux nécessaire à greffer en amont afin d'anticiper le tracé d'incision et la quantité de biomatériau à prévoir. La simulation d'une greffe de sinus ou d'une résection de crête fine est possible.

Dans le cas d'extraction/implantation immédiate, l'extraction numérique de la dent est simulable afin de visualiser la position du futur implant. La dent encore présente sur arcade lors du CBCT permet de préfigurer l'enveloppe prothétique.

De plus, le choix des piliers prothétiques est aussi réalisable sur le logiciel de planification.

iii. Création d'un guide chirurgical

Certains logiciels de planification pure permettent, une fois l'analyse 3D et le projet prothétique réalisés, de construire un guide chirurgical adapté à la situation clinique.

3) La planification implantaire statique :

a. Définition :

La planification implantaire statique correspond au guide chirurgical en lui-même, issu de la planification implantaire dynamique informatisée ou non.

Il permet d'aider le chirurgien au positionnement des implants déterminé au cours de la planification pour être en accord avec le traitement prothétique.

Cependant, ces guides ne permettent pas de palier un manque d'expérience du praticien, son sens clinique reste primordial.



Figure 9 : guide conventionnel de forage à appui osseux. Source : crownceram.com

b. Évolution :

En 1999, sont apparus les guides chirurgicaux à appui osseux. L'édenté total a été le premier historiquement à bénéficier de l'implantologie assistée par ordinateur ; l'idée étant de simplifier une chirurgie complexe et invasive mettant un jeu un nombre important d'implants et, de la rendre plus précise.

Dans un second temps, dans les années 2002, un palais en matériau radio-opaque a été utilisé pour délimiter avec précision le volume des tissus mous ce qui a donné naissance au guide à appui muqueux. Ce dernier possède l'avantage d'éviter de soulever un lambeau périosté, l'abord osseux étant transgingival.

Enfin en 2003, l'implantologie assistée par ordinateur s'est étendue aux patients partiellement édentés chez qui il est possible de prendre appui sur les dents adjacentes à la zone édentée.

(9)

c. Intérêts :

Il est démontré dans la littérature que l'aide apportée par les guides chirurgicaux implantaires permet d'augmenter de manière significative la précision du positionnement des implants. En effet, d'après la revue systématique Tattan et al., il est mis en évidence qu'une différence significative en termes de positionnement implantaire est réelle ($p < 0,0001$) lorsque la chirurgie est guidée par rapport à une chirurgie à main levée. (10)(3)(4)(5)

La plus grande source d'erreur ne vient pas de la conception du guide mais du positionnement du guide lors de la chirurgie.

d. Fabrication des guides chirurgicaux :

i. Historique de fabrication :

Les premiers guides chirurgicaux à être fabriqués étaient à appuis osseux dans les années 2000 ; les guides à appuis dentaires muqueux et dentaires sont arrivés peu après. Ils ont tout d'abord été fabriqués au laboratoire par le prothésiste. Plus tard avec le développement des techniques d'impression 3D et l'explosion de l'informatique au service de la dentisterie, la conception des guides assistée par ordinateur est devenue de plus en plus courante.

Les guides ont tout d'abord été fabriqués par lithographie ; méthode qui consiste à polymériser couche par couche une résine liquide par un rayon laser.

Cette technique donne un guide très massif qui pose ainsi des problèmes pour l'irrigation (l'eau n'ayant pas de trajet direct vers le site de forage ce qui entraîne une surchauffe du tissu osseux) et pour la visibilité du site opératoire.

Ensuite, les techniques de frittage laser et d'impression par dépôt de matière fondue étaient très utilisées avant que la stéréolithographie ne se démarque par son niveau de précision très important.

Aujourd'hui, l'impression 3D présente un réel progrès. Elle permet d'obtenir un guide moins massif qui augmente la visibilité du site opératoire, permet une meilleure irrigation du site opératoire ainsi qu'une stabilisation mieux maîtrisée qui augmente la précision. (11)

La fabrication des guides chirurgicaux peut se faire numériquement ou non.

ii. Fabrication non assistée par ordinateur

La fabrication des guides chirurgicaux peut être réalisée au laboratoire par le prothésiste, à la main, sans recourir à des techniques d'usinage ou d'impression 3D.

Cette méthode consiste dans le cas des édentements partiels en la réalisation d'un wax up au niveau de l'édentement afin de planifier le projet prothétique (après empreinte physique et montage en articulateur) ; on obtient alors un modèle qui correspond à la situation finale désirée.

Le prothésiste est alors capable de réaliser une gouttière transparente à partir de ce modèle qui constituera notre guide chirurgical.

Il est ensuite nécessaire de réaliser des puits de forage en regard des implants à poser que l'on comble avec du matériau radio-opaque (Cavit®/Gutta Percha®) puis de réaliser un CBCT, gouttière en place, afin de superposer le projet prothétique au volume osseux sous-jacent.

Cette étape permet de valider l'axe et la position des implants ainsi que de choisir leur forme, nombre, longueur et largeur.

Enfin, le matériau radio-opaque est déposé pour laisser les puits de forage accessibles ; ils permettront ainsi de guider le foret pilote lors de la chirurgie.

L'efficacité de ces guides reste controversée et présente une courbe d'apprentissage importante. La littérature ne présente pas de consensus concernant la précision de la pose des implants selon les mêmes critères qu'énoncés précédemment ; certaines études démontrent une efficacité supérieure lors de l'utilisation de ces guides radiologiques transformés comparée à la pose d'implant à main levée tandis que d'autres, ne mettent pas en évidence de différence significative entre les deux techniques. (4)(12)

iii. Assistée par ordinateur

La modélisation du guide chirurgical est aussi réalisable sur le logiciel de planification au même titre que la planification prothétique.

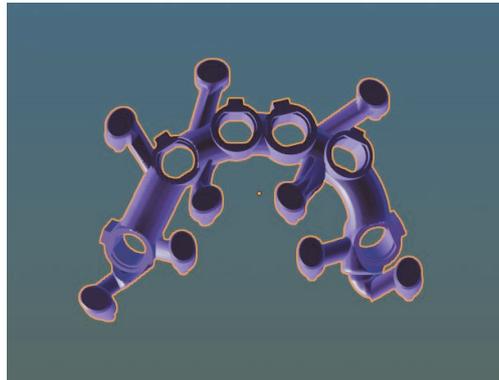


Figure 10 : capture d'écran lors de la conception d'un guide sur un logiciel de planification (courtoisie Antoine Pinault)

Il en découle alors l'usinage ou l'impression 3D d'un guide chirurgical entièrement conçu par ordinateur.

La littérature met en évidence l'efficacité supérieure des guides conçus par ordinateur par rapport aux guides conçus non virtuellement ainsi que lors des chirurgies à main levée et ce quel que soit le type de guide (en termes d'appui, d'ouverture et de degré de guidage). (4)(12)

Pour leur réalisation, un CBCT doit être préalablement réalisé avec un guide radio-opaque en place afin de confirmer les axes prédéfinis. Un deuxième CBCT du guide radio-opaque seul doit être réalisé dans la même position que lorsqu'il est en bouche. Le logiciel peut ainsi superposer les deux CBCT ce qui lui permet d'individualiser le guide pour le déplacer de la modélisation 3D.

Ensuite, le scannage des modèles en plâtre avec le wax up réalisé par le laboratoire est superposé au fichier issu de l'imagerie 3D, on obtient alors une image complète qui comprend les tissus mous (modèle en plâtre), les tissus durs (CBCT) et le projet prothétique (wax up). Cette méthode présente ainsi des données prothétiques fiables.

Nous rappelons aussi qu'une modélisation prothétique peut être faite virtuellement directement sur le logiciel.

Le départ de cette fabrication est le fichier stl. 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.

Il existe deux méthodes de fabrication assistées par ordinateur : par soustraction et par addition de matière.

- L'usinage est un procédé de fabrication par soustraction. On part d'un bloc de matière qui est taillé progressivement à l'aide de fraises afin d'obtenir le modèle commandé. Cette méthode entraîne un gaspillage important de matière et donc un coût de production plus élevé. Cette technique de fabrication est donc peu utilisée dans le domaine de la dentisterie.
- L'impression 3D est un procédé de fabrication par addition. Des couches de matériaux sont progressivement ajoutées et polymérisées pour obtenir le modèle commandé. Dans cette méthode, seule la quantité de matière nécessaire à la production est utilisée, supprimant de fait la perte de matériau. Le coût de production en est alors diminué.

Différentes techniques d'impression 3D sont disponibles :

- l'impression par dépôt de matière fondue, c'est une technique peu utilisée en dentisterie. Elle repose sur 3 éléments principaux : un plateau d'impression sur lequel est imprimée la pièce, une bobine de filament qui sert de matériau d'impression et une tête d'extrusion. Son fonctionnement est simple, le filament est entraîné et fondu par la tête d'extrusion de l'imprimante 3D ; ce dernier forme ainsi peu à peu l'objet en déposant le matériau de manière précise couche par couche sur le plateau.

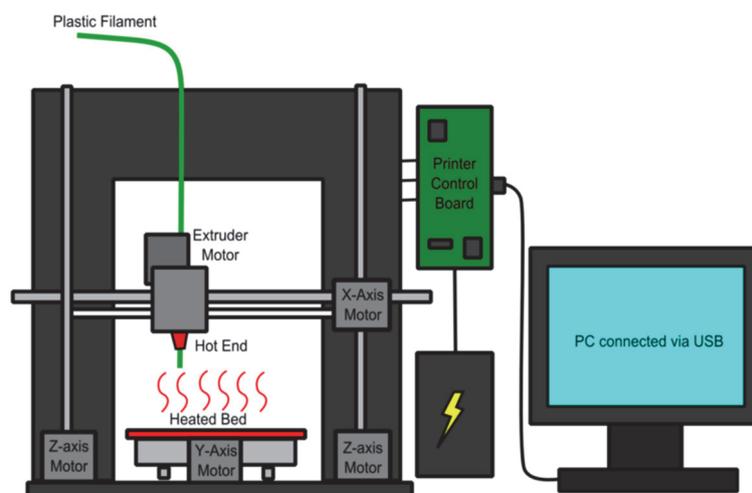


Figure 11 : schématisation de l'impression par dépôt de matière fondue (www.3dprintingtech.cc)

- la technique polyjet : des mini-gouttelettes de résine sont pulvérisées et polymérisées par des rayons Ultra-Violets. Cette méthode est très précise mais présente un coût élevé ce qui limite son utilisation en dentaire.

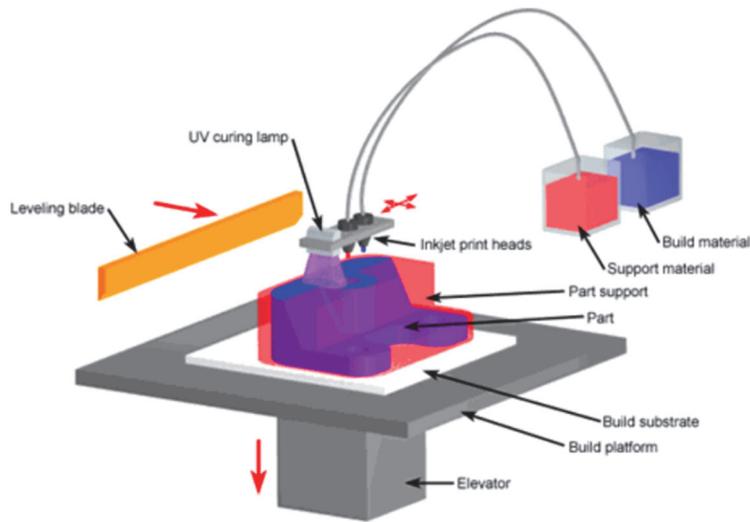


Figure 12 : schématisation de la technique polyjet (www.customPartNet.com)

- le procédé digital light processing (DLP) qui consiste en l'orientation de milliers de miroirs qui reproduisent la forme de l'objet pour polymériser la résine avec des rayons Ultra-Violets. Cette technique permet de fabriquer l'objet très rapidement mais représente un investissement financier trop important pour être compatible avec son utilisation en dentisterie.

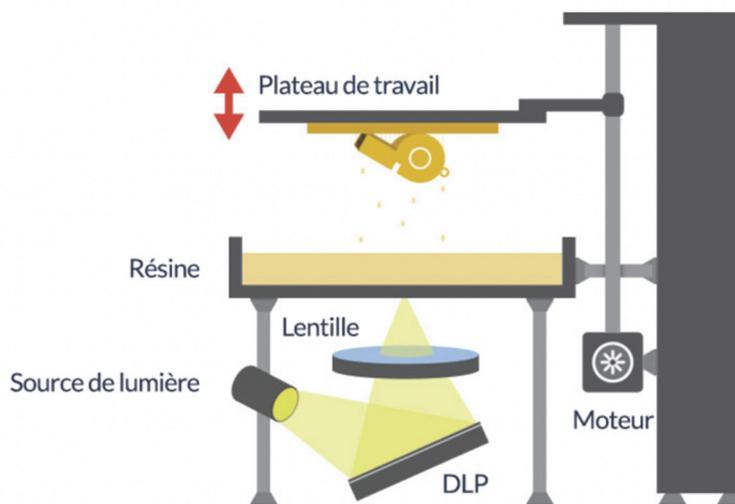


Figure 13 : schématisation de la technique "digital light processing" (<https://www.erm-fabtest.com/blog/l-impression-dlp-qu-est-ce-que-c-est-n18>)

- le frittage laser ; cette méthode consiste à porter une poudre à température de fusion par un laser CO2 afin de fabriquer l'objet conçu par ordinateur. Elle est utilisée en prothèse adjointe ou conjointe pour les pièces métalliques tels que les châssis ou les armatures.

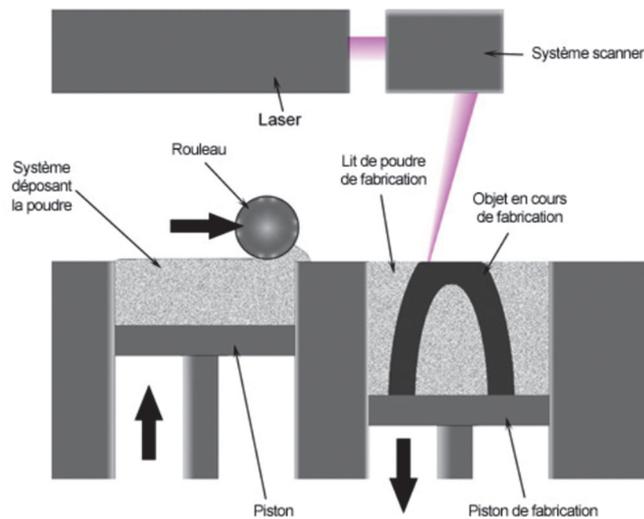


Figure 14 : schématisation de la technique d'impression par frittage laser (MaterialGeeza via Wikipedia)

- la stéréolithographie, c'est la méthode la plus utilisée pour la conception des guides chirurgicaux conçus par ordinateur.

De la résine liquide est polymérisée couche par couche par des rayons Laser commandés par ordinateur. La plateforme sur laquelle la polymérisation aura lieu se trouve dans une cuve contenant la résine fluide. En se déplaçant vers le bas dans le plan vertical, elle permet à la polymérisation de s'effectuer couche par couche ; l'état de surface de la pièce est rugueux dit en stries d'échelon. (9)

Plusieurs teintes et propriétés physico-chimiques différentes de résine sont disponibles ; le niveau de précision est très élevé pouvant aller jusqu'à 10 micromètres d'épaisseur par couche de résine polymérisée. (11)

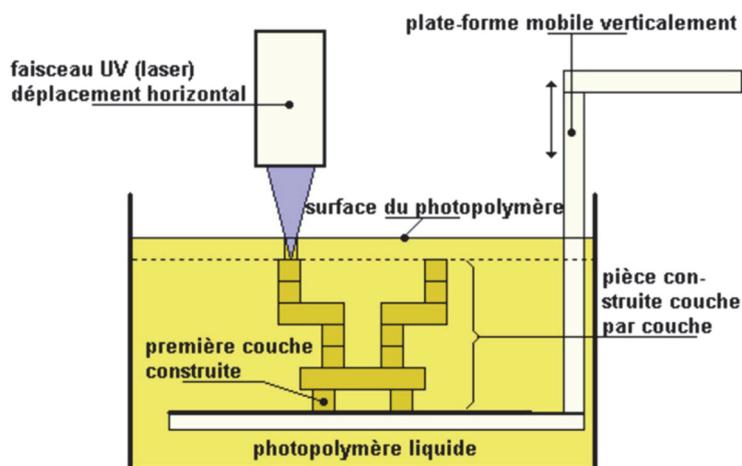


Figure 15 : schématisation de la technique d'impression 3D par stéréolithographie (<http://tpe.imathgeo.com/a-propos-de/>)

Cette technique est largement utilisée en dentisterie car elle présente de nombreux intérêts par rapport aux autres techniques précédemment citées :

- Précision des pièces fabriquées importante
- État de surface lisse car les couches successives peuvent ne faire que 10 micromètres d'épaisseur comme cité précédemment
- Reproductibilité
- Rapidité de production
- Meilleur rapport qualité/prix

	<u>Stéréolitho- graphie</u>	Frittage laser	DLP	Technique polyjet	Impression par dépôt de matière fondue
Avantages	Recul (1 ^{ère} technique mise au point) Précision État de surface lisse Rapidité de production Solidité	Bonne gestion de la porosité du matériau des pièces frittées Absence de support Large choix de matériaux	Rapidité de production Large choix de matériaux	Précision Pas de finition nécessaire Large choix de matériaux	Forte variété de matériaux utilisés Rapidité d'impression Faible cout des consommables
Inconvénients	Toxicité Fragilisation à la lumière Volums piégés Déformations possibles	Précision limitée à 30µm Cout très important État de surface non lisse, nécessité de finitions	Cout très important	Cout très important Pièces fabriquées fragiles	Précision variable Encombrant Toxicité

Figure 16 : tableau personnel : avantages et inconvénients des différentes techniques d'impression 3D

e. Classifications des guides chirurgicaux :

Il existe plusieurs classifications en fonction du type de guide implantaire.

Cependant, en dehors du choix du guide, son positionnement, sa stabilité en bouche et sa fabrication conforme à sa confection restent les éléments essentiels à son utilisation.

i. En fonction de l'appui

Les différents appuis disponibles pour le positionnement des guides chirurgicaux sont comme énoncés précédemment :

- dentaire : dans le cas des édentements partiels
- osseux : chez l'édenté total dans le cas de chirurgie avec lambeau
- muqueux : chez l'édenté total dans le cas d'une chirurgie sans lambeau

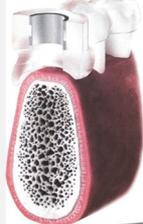
	Appui dentaire	Appui muqueux	Appui osseux
Illustrations			
Indications	Édentements partiels	Chirurgie sans lambeau	Idéal en cas d'aménagement osseux pré implantaire concomitant
Avantages	Stabilité importante	- Post op moins difficile car pas de lambeau : saignement, oedème, morbidités diminuées - Temps opératoire diminué	Visualisation des éléments anatomiques (lambeau décollé)
Inconvénients	Si lambeau, il peut interférer et gêner le positionnement du guide	- Comblement osseux et greffe de gencive impossibles - Stabilisation difficile	- Morbidité du patient augmentée Temps opératoire plus long - Patients moins satisfaits

Figure 17 : tableau personnel : différents tissus de support pour les guides implantaires (9)

La littérature actuelle est consensuelle sur le fait que les guides à appui dentaire présentent la meilleure stabilité et donc la meilleure précision en termes de positionnement implantaire. Viennent ensuite les guides à appuis muqueux et enfin les guides à appuis osseux qui sont les moins stables et nécessitent le décollement d'un lambeau ; le temps interventionnel et les morbidités post opératoires sont alors augmentés aux dépens du confort du patient et du praticien mais sont cependant parfois inévitables. (3)

En effet, dans l'étude de Wei Geng et al., les données d'imagerie 3D pré et post interventionnelles sont matchées afin de superposer la planification à la position finale de l'implant ; les résultats montrent des différences significatives ($p < 0,05$) concernant les guides à appui dentaire comparés aux guides à appui muqueux et osseux. (13)

ii. En fonction de l'ouverture

Les guides chirurgicaux implantaires peuvent être ouverts ou fermés permettant de voir ou non les tissus sous-jacents. Les guides ouverts sont non directifs laissant une marge de manœuvre importante au chirurgien.

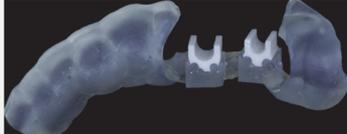
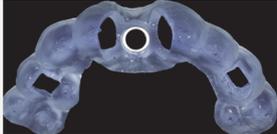
	Guide ouvert = tissu osseux/muqueux visibles	Guide fermé = tissu osseux et tissu muqueux invisibles
Illustrations		
Indications	Nécessité de visualiser les tissus sous-jacents	Guides complets
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Si problème dans la planification, c'est détectable et ré ajustable - Visualisation des défauts osseux/muqueux et correction possibles - Irrigation meilleure 	Guidage plus précis
Inconvénients	Erreurs de positionnement plus fréquentes car plus de liberté	<ul style="list-style-type: none"> - Le mauvais positionnement du guide ou une mauvaise planification ne peuvent pas être détectés - L'irrigation n'est pas au contact direct avec le tissu osseux durant le forage -> augmentation de la température -> moins bonne cicatrisation

Figure 18 : tableau personnel : guides implantaires ouverts ou fermés (9)

iii. En fonction du degré de guidage

	Guide pour foret pilote	Guide partiel (séquence de forage complète mais pas l'implant)	Chirurgie totalement guidée (forets + implant)
Indications	Expérience du praticien		- Chirurgie sans lambeau Quand les tissus osseux et muqueux (kératinisés) sont suffisants
Avantages	Réajustement de l'axe de forage en fonction de la situation clinique possible	<ul style="list-style-type: none"> - Précision proche des guides complets - Visualisation des tissus péri-implantaires lors de la pose de l'implant 	<ul style="list-style-type: none"> - Plus de précision - Restauration provisoire plus prévisible
Inconvénients	Moins précis	Position verticale de l'implant non contrôlée	<ul style="list-style-type: none"> - Changements durant la chirurgie impossibles - Coût plus élevé

Figure 19 : tableau personnel : différents degrés de guidage en planification statique (9)

La 5^{ème} conférence internationale consensuelle de l'implantologie démontre une précision supérieure concernant la position de l'implant lors de l'utilisation d'un guide complet par rapport à un guide partiel ou pilote.

L'essai clinique randomisé de E. Varga et al. met en évidence une déviation générale de l'implant inférieure (différence significative $p < 0,05$) en cas de l'utilisation d'un guide complet par rapport aux guides pilote/partiels et à main levée. Cependant aucune différence significative n'a été mise en évidence entre ces trois dernières techniques énoncées. (12)

4) La conception de prothèse provisoire par CFAO :

Il est possible actuellement dans le cadre de chirurgie guidée de concevoir la prothèse en amont de la chirurgie.

Cela permet de gérer la phase de temporisation par une mise en charge de la prothèse (couronne en occlusion afin de rétablir la fonction de mastication) ou une mise esthétique (prothèse déchargée en occlusion qui n'assure que l'esthétique afin de compenser l'édentement) selon les situations cliniques.

Cette technique permet de gagner du temps dans le plan de traitement global en évitant la phase d'empreinte.

Elle n'est cependant réalisable que si la pose de l'implant a été suffisamment précise et fidèle à la planification implantaire préalable.

En cas de légère déviation, de nouvelles pièces prothétiques permettent de compenser un léger décalage afin d'assurer la pose de la prothèse jusqu'à une déviation de l'implant de 20°.

Ces prothèses sont réalisées et usinées à l'aide de logiciel de Conception de Fabrication Assistées par Ordinateur. (9)

II. Du guide conventionnel au guide à étages

1) Les guides conventionnels

a. Généralités

Comme énoncé dans la première partie, les guides conventionnels correspondent à la planification statique de la chirurgie. Ils peuvent avoir différents supports : dentaire, muqueux et osseux. Ils présentent différents degrés de guidage : pour le foret pilote, guide partiel et complet ; et peuvent être fabriqués à la main par le prothésiste ainsi que par ordinateur.

Ils sont utilisés selon les praticiens de façon systématique pour certains ou en cas de chirurgie complexe pour d'autres.

Aujourd'hui ce sont les guides du marché les plus utilisés.

b. Limites des guides conventionnels

Comme énoncé précédemment ces guides chirurgicaux implantaires sont les plus utilisés du marché, de plus leur protocole de confection et d'utilisation est bien codifié ce qui rend leur utilisation facile et compatible avec une pratique régulière.

Cependant, certaines limites concernant leurs utilisation et résultats ont été montrées dans la littérature.

i. Limites de la chirurgie guidée

- Augmentation du nombre d'étapes : la planification préalable présente une étape supplémentaire ; en effet, il est important de dégager un temps suffisant à ces planifications pour assurer une bonne préparation du cas clinique. Cette étape peut être vue comme un inconvénient à première vue car elle nécessite une organisation particulière mais ce temps consacré à la planification sera compensé par un gain de temps opératoire et de la sécurité au cours de l'intervention.
- Courbe d'apprentissage : en début de pratique, le manque d'expérience peut entraîner une augmentation des erreurs de planification et lors de l'utilisation des guides. Une courbe d'apprentissage est alors à noter avec des résultats de plus en plus satisfaisants au cours du temps. Ce phénomène est par ailleurs réel pour chaque nouvelle technique utilisée dans n'importe quel domaine ; la chirurgie guidée étant très protocolaire et codifiée, elle limite cet effet d'apprentissage.

- Erreurs antérieures à la chirurgie altérant la précision : chaque éventuelle erreur se répercute dans la succession des étapes et aboutira à un positionnement implantaire erroné. D'autant plus lors de l'utilisation de guides complets ou fermés où le praticien ne peut pas pleinement utiliser son sens clinique par manque de vision. Il peut alors passer à côté d'une erreur et aller jusqu'à la pose de l'implant sans remarquer le mauvais positionnement de ce dernier. Il est donc important de dédier un temps suffisant à chaque étape de planification pour un enchaînement plus serein du protocole chirurgical. (4)
 - Examen radiographique pré implantaire : le risque d'erreur lors de cette étape est très important

- **Erreur liée au placement du guide** : l'imagerie 3D avec guide radiologique en place permet la superposition des données osseuses avec les données prothétiques (le guide radiologique correspondant au projet prothétique radio-opaque pour vérifier que les axes implantaires correspondent aux axes prothétiques). Toute erreur ou distorsion lors de l'examen radiographique entraîne donc une planification erronée. Pour pallier ce risque d'erreur, il convient de vérifier que le guide est bien conforme au projet prothétique et qu'il soit bien mis en place dans la bouche du patient. La stabilité du guide est primordiale : selon Van Assche et al 2007, elle dépend de la qualité de l'empreinte primaire et de la qualité des tissus sur lesquels il va reposer. (14) Par exemple, un tirage, un défaut de qualité ou quantité du matériau d'empreinte va entraîner des retouches nécessaires qui altèrent la stabilité du guide. La qualité du tissu est aussi primordiale, par exemple, pour les guides muco-supportés la qualité de la muqueuse influe de façon significative. En cas de muqueuse flottante ou de crête fine, le guide aura du mal à trouver sa position. Une clé d'occlusion pour placer correctement le guide est alors nécessaire. (9)

- **Erreur liée à l'image 3D (scanner ou CBCT) en elle-même** : une image 3D est une image segmentée afin d'obtenir des coupes. Le CBCT ne présente que très peu de distorsion géométrique ; en effet sa précision et sa segmentation sont de 95% selon Loubele et al. (15). Liang et al. (2009), avancent que le scanner est encore plus précis : il présente une précision du ¼ de mm. (16)
Malgré des précisions importantes, ces procédés d'imagerie peuvent entraîner une possible sur ou sous-estimation du volume osseux.
 - Planification 3D sur logiciel : si cette étape est négligée, par manque d'expérience ou par simple erreur il peut en découler une planification erronée. En cas d'erreur d'analyse 3D préalable, il peut arriver lors de la chirurgie, une fenestration à la pose de l'implant, une découverte fortuite de la nécessité d'une greffe par manque de volume osseux, un manque de stabilité primaire ou encore l'impossibilité totale de poser l'implant. (17)
 - Fabrication du guide : la précision de la fabrication par stéréolithographie est de $\pm 0,1\text{mm}$ par 100mm avec un taux d'erreur de 0,1%. Un écart significatif entre la simulation informatique et la réalité clinique n'est donc pas à imputer à la fabrication du guide chirurgical. (9)

- Acte chirurgical : cette étape présente également un risque d'erreur très important
- Si le guide présente une mauvaise adaptation ou un mouvement de bascule, il doit être refait et la chirurgie doit alors être repoussée (un rendez-vous d'essayage du guide est donc intéressant afin d'éviter cette situation). Pour les guides à appui muqueux, une clé de positionnement occlusale est la meilleure voie pour s'assurer que le guide est dans la position désirée.
- De plus, lors de la chirurgie, le guide est soumis à des forces de pression, de cisaillement ou de torsion durant le passage des cuillères et des forets ; ces forces sont susceptibles de déplacer les futs de forage de leur position initiale ce qui conduit à forer à distance du point planifié. (9)
 - ⇒ Guide à appui dentaire : c'est le guide le plus stable mais il est tout de même possible de le faire basculer hors de sa position initiale ; surtout en cas d'édentement terminal où le guide est en appui uniquement sur les dents antérieures. (9)
 - ⇒ Guide à appui muqueux : il est stabilisé par des clavettes intra-osseuses. La pose de ces dernières doit être prudente afin de ne pas exercer de pression qui pourrait faire basculer le guide. Une clé de positionnement occlusale rigide doit être mise en place avant la stabilisation du guide par les clavettes. L'anesthésie peut entraîner une tuméfaction muqueuse qui peut elle-même induire une malposition du guide (principalement au niveau de la muqueuse palatine où un décollement fibro-muqueux se produit autour du point d'injection). (9)
 - ⇒ Guide à appui osseux : ce guide est stabilisé par des vis, une clé de positionnement occlusale rigide est aussi recommandée afin de stabiliser le guide dans la bonne position avant de le fixer.
- Non systématique : cette aide à la chirurgie n'est pas nécessaire dans toutes les situations cliniques. En effet, quand le diagnostic est clairement posé, que l'édentement est de faible portée, qu'aucun obstacle anatomique n'est présent dans les tissus adjacents et que la quantité d'os présente est suffisante, il est possible de se passer de cette chirurgie guidée. Quand tout est favorable et réalisable à main levée, seuls les inconvénients de la chirurgie guidée sont présents sans les avantages de cette dernière. En effet, le coût et le temps investis dans la préparation de la chirurgie n'apportent que trop peu de bénéfices par rapport à la chirurgie à main levée qui serait réalisable. Se pose alors la question du rapport coût/efficacité ? (18)

De plus le guide est proposé au patient avec ses avantages, inconvénients et intérêts pour la chirurgie, il est alors en droit de refuser son utilisation. Dans certaines situations cliniques, il peut aussi être inutilisable à cause de la faible ouverture buccale par exemple ou en cas de claustrophobie, le patient ne supportera pas l'inconfort du guide en plus du moteur nécessaire à la pose d'implant.

- Coût : la chirurgie guidée présente un coût supplémentaire pour le praticien (en termes de temps consacré à la préparation du cas avant la chirurgie et en coûts de laboratoire). Le devis total proposé au patient en est de fait augmenté ; il est alors nécessaire de bien informer le patient sur l'intérêt, avantages et inconvénients du guide afin qu'il puisse y consentir de manière éclairée.

ii. Limites propres aux guides conventionnels

- Stabilité intraorale du guide : le calage du guide en bouche n'est pas toujours aisé. Selon les tissus de support, la stabilité n'est pas aussi évidente à trouver. Comme énoncé précédemment, les tissus dentaires apportent la meilleure stabilité ; d'autant plus en cas d'édentement de faible étendue. Lopez et al. préconisent 3 vis en antérieur et 2 en postérieur en cas de guide fixé sur les maxillaires (appui osseux). (19)

- Positionnement du guide : dans certaines situations, le placement du guide chirurgical est difficile à retrouver. L'infiltration de l'anesthésie peut entraîner une tuméfaction des tissus et altérer par la suite le positionnement du guide ; il est alors recommandé d'attendre 10 min et de masser la zone pour limiter le gonflement. (19)

La position des guides à appui dentaire est évidemment plus facile à retrouver du fait des points d'ancrage précis (cuspidés dentaires). Pour les guides à appui muqueux et osseux, une clé occlusale de repositionnement doit être réalisée pour aider le praticien à placer correctement son guide avant de le fixer à l'aide des clavettes intra-osseuses.

Cette étape est primordiale ; en effet, dans le cas des édentements totaux avec des guides muco supportés, un mauvais placement du guide chirurgical entraîne une différence significative dans le positionnement final de l'implant. En effet, comme le montrent Cassetta et al. dans leur étude, malgré l'utilisation de clavettes ostéo-ancrées, une mauvaise fixation du guide peut entraîner des écarts jusqu'à 1,10 mm en coronal de l'implant et jusqu'à 4,33° de déviation angulaire de l'implant. Cet écart est non négligeable et significatif ; il peut entraîner une fenestration osseuse ou encore porter préjudice à la future prothèse. (20)

- Diminution de l'espace occlusal : de par leur fabrication et leur rigidité (fiabilité et résistance à la fracture augmentées), les guides conventionnels présentent un volume et une épaisseur importante. Se pose alors la problématique du manque d'espace en postérieur. Dans le cas d'ouverture buccale faible ou réduite, il peut arriver que le praticien ne puisse pas passer ses forets dans les secteurs molaires. Lopez et al. évoquent une ouverture supérieure à 35mm pour assurer le passage des instruments à travers le guide en postérieur. (19)

Le degré d'ouverture buccale est donc une variable à prendre en compte au cours de la première consultation.

- Surchauffe du site de forage : comme énoncé précédemment, les guides conventionnels sont assez volumineux et recouvrent une partie importante de la crête osseuse. Lors de la pose implantaire, une irrigation abondante est primordiale afin de refroidir le tissu osseux au travers duquel les instruments travaillent afin de préparer le lit implantaire. Un manque d'irrigation peut entraîner une surchauffe du tissu osseux et par la suite sa nécrose par manque de revascularisation qui peut être lésée lors de la chirurgie. Une tubulure d'irrigation est présente sur le moteur support des forets, mais en cas d'utilisation de guides conventionnels, les puits de forages étant étroits, ils empêchent l'eau d'arriver sur le site de forage. Une aide à l'irrigation peut être additionnée en utilisant une seringue chargée d'eau stérile que l'on portera au plus près du site de forage.
- Précision encore insuffisante, dans la première partie nous avons déjà présenté les résultats en moyenne de précision des guides chirurgicaux implantaires. Pour rappel, la méta-analyse et revue systématique de Tahmaseb et al. présente une déviation moyenne de 1,2mm au point d'entrée, de 1,4mm à l'apex et 3,5° de déviation globale de l'implant (données comparant la position finale de l'implant à la planification virtuelle). (3)
Même si ces chiffres sont bons ils restent relativement élevés et témoignent d'une précision imparfaite. Il est ainsi nécessaire de prendre des marges de sécurité et il n'est pas possible de faire une confiance aveugle à la méthode. Du fait de ces imprécisions se pose encore le problème du repositionnement des prothèses provisoires réalisées par le laboratoire avant la chirurgie ; il est fréquent de ne pas pouvoir fixer les prothèses provisoires sur les implants car elles ont été fabriquées à partir de la planification qui ne correspond pas exactement à l'emplacement final des implants.
- Fracture du guide : il n'est pas rare d'observer des fractures des guides implantaires lors de la chirurgie. Ce phénomène est plus fréquent lorsque l'implant est torqué à plus de 50 Newton. La revue systématique de Schneider et al. (basée sur 293 articles dont 18 ont été retenus), met en évidence que 7,7% des complications chirurgicales à court terme correspondent aux fractures de guides (ce qui concerne 0,7% des patients). (17)
- Jeu dans les fûts de forage : Cassetta et al. mettent en évidence dans une de leur étude menée en 2013 qu'une erreur mécanique peut provenir du hiatus présent entre le foret et le fût de forage prévu pour son passage. Ce hiatus est nécessaire pour assurer le passage libre des forets au travers du guide mais il laisse cependant une liberté pour l'angulation du foret qui peut être préjudiciable. En effet, il peut en découler un axe de forage erroné. (21)

Comme énoncé dans ce sous chapitre, on constate que le guide conventionnel n'est pas parfait en termes d'ergonomie, précision et complications à court terme. De récentes techniques prometteuses sont présentées dans la littérature telles que le guide à étages. Nous sommes donc amenés à étudier ce nouveau procédé.

2) Le guide à étages

a. Généralités

i. Définition :

Le guide à étage est un guide composé de plusieurs parties amovibles successivement mises en place au cours des différentes étapes de la chirurgie.

Une première partie (= socle) se fixe à l'os cortical vestibulaire via de petites vis positionnées dans des puits prévus à cet effet. Si des dents sont encore présentes sur l'arcade, il est conseillé de s'appuyer sur ces dents restantes afin de placer les pins intra-osseux de façon plus précise.



Figure 20 : Courtoisie Dr Silvestri : socle et appui dentaire du guide à étages

Une seconde partie amovible vient se positionner sur la première à l'aide de petits aimants ou d'un emboîtement partie mâle/partie femelle ; elle est pourvue de douilles en face de chaque implant à positionner afin de permettre le passage des forets puis de l'implant. Cette seconde partie est déposée une fois que l'implant est en place.

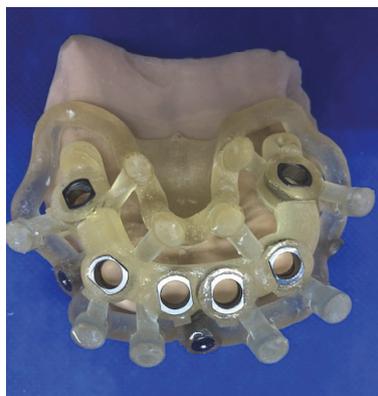


Figure 21 : Courtoisie Dr Silvestri : guide forage en appui sur le socle

Enfin une troisième partie vient se fixer sur le socle de la même manière que la seconde partie. Cette dernière partie contient la prothèse provisoire qui sera ensuite mise en charge sur les implants.



Figure 22 : étage prothétique (30)

ii. Intérêts :

- Résection osseuse :

Il est particulièrement intéressant d'utiliser un guide à étages dans le cas où une résection osseuse est indiquée avant la pose d'implant.

Dans certaines situations cliniques, telles qu'en cas de crête en lame de couteau, d'une hyperplasie alvéolaire, d'extractions multiples ou d'un niveau osseux irrégulier, il est nécessaire de procéder à une ostéoplastie soustractive afin d'obtenir un os régulier dont le rebord osseux est à la bonne hauteur en termes d'exposition gingivale lors du sourire, d'hauteur prothétique disponible et de volume osseux présent pour la pose d'implants. (22) Salama et al. évoquent une hauteur minimum nécessaire entre la crête osseuse et la surface occlusale opposée de 15 à 18mm afin de faciliter l'accès à l'hygiène et préserver une santé gingivale. Cette hauteur peut être réduite à 10-14mm pour les restaurations en zircone, cette solution peut alors être une alternative intéressante pour les patients ayant une faible hauteur prothétique. De plus, il est recommandé de préserver au minimum 3 mm entre la partie coronaire de la crête osseuse et le contour prothétique. (23)

L'ostéoplastie soustractive élimine la corticale osseuse et laisse le tissu osseux spongieux à la surface de la crête. Le placement des implants sera alors plus difficile car il sera réalisé uniquement dans un os peu dense et moins favorable pour la stabilité primaire des implants. (24)

La résection osseuse peut être réalisée avec un instrument rotatif, avec une râpe à os lorsqu'elle est minimale ou avec une instrumentation ultrasonore. Elle est souvent réalisée à main levée mais elle peut aussi être planifiée sur logiciel au même titre que le placement des implants (la résection est alors planifiée selon la classification de Misch (8)).

Lorsqu'elle est réalisée à main levée, la précision n'est que relative et la perte de repères peut être risquée vis-à-vis des éléments anatomiques nobles adjacents (nerf alvéolaire inférieur à la mandibule et sinus au maxillaire). De plus, sans aide chirurgicale, la résection n'est pas assez prévisible pour pouvoir utiliser un guide à appui osseux fabriqué avant la chirurgie (l'anatomie du support osseux est alors variable et le guide planifié ne s'adapterait pas suffisamment à la crête remodelée). (25)

De plus, à l'œil nu, il est très difficile d'apprécier un niveau osseux correct dont la situation est primordiale pour la restauration prothétique. Une sous correction peut entraîner un problème esthétique car les piliers prothétiques peuvent alors être visibles et la hauteur prothétique serait insuffisante et entraînerait une éventuelle fracture prothétique à plus ou moins long terme. Une sur correction nécessite de recourir à un ajout de fausse gencive sur la prothèse, augmente le risque de toucher des structures nobles adjacentes, la gestion de la dimension verticale devient alors difficile à gérer et il faut modifier la longueur et trajectoire des implants. (25)

Ces éléments soulignent donc l'importance de cette étape de résection osseuse et il paraît alors justifié de recourir à une planification préalable.

Le guide à étages permet de répondre à cette demande grâce au premier socle fixé à l'aide de pins intra-osseux. Le rebord supérieur du socle représente le niveau de résection, le praticien peut alors s'appuyer sur cet étage lors de l'ostéoplastie. Le guide de forage est ensuite positionné sur le socle et la pose d'implants peut être guidée (ce qui n'est pas le cas lorsque la résection est réalisée à main levée).

- Placement de la restauration provisoire :

Cette technique chirurgicale facilite le placement de la restauration provisoire. La prothèse étant réalisée en amont de la chirurgie à partir de la planification, il est souvent difficile de la mettre en place lors des chirurgies utilisant des guides stéréolithographiques. En effet, la précision de ces guides n'étant pas optimale, la position de l'implant n'est souvent pas exactement la même que sur la planification, ce qui empêche le repositionnement de la prothèse provisoire réalisée à partir de la planification. Grâce à leur socle fixé sur l'os et aux systèmes d'étages emboîtés, les guides à étage permettent une meilleure adaptation de la prothèse provisoire sur les implants ; la mise en charge immédiate des implants est ainsi souvent possible (cf. Partie III).

En effet, lorsque la prothèse est placée en même temps que les implants, le patient retrouve directement esthétique et fonction et la séance d'empreinte et d'enregistrement d'occlusion souvent mal tolérée à la sortie du bloc opératoire est évitée.

b. Conception :

Les guides à étages sont conçus uniquement par ordinateur à partir de la planification 3D. Certains logiciels permettent leur création tels que Anatomage Invivo 5 (24), exocad DentalCAD et inLab CAD (26), NemoStudio software (27), ou encore Autodesk Meshmixer (28). Le procédé est semblable à la création d'un guide conventionnel par ordinateur, certaines options du logiciel permettent de dessiner sur la planification le tracé de notre futur guide. Il est ensuite imprimé par stéréolithographie lorsqu'il est en résine mais il peut aussi être usiné par selective laser melting lorsqu'il est métallique.

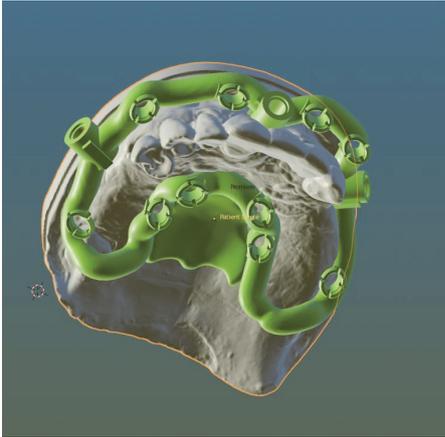


Figure 23 : Base du guide (courtoisie Antoine Pinault)

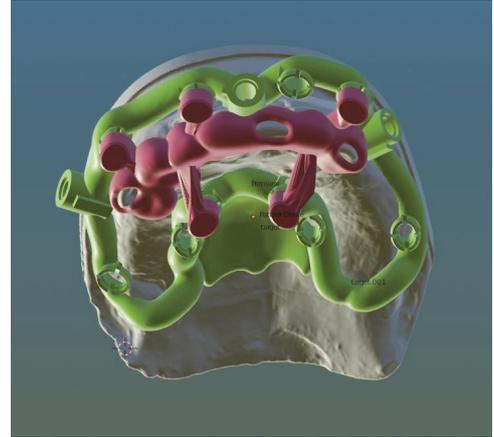


Figure 24 : Guide de positionnement (courtoisie Antoine Pinault)

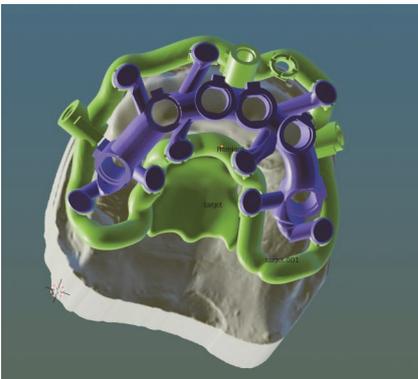


Figure 25 : Guide de forage (courtoisie Antoine Pinault)

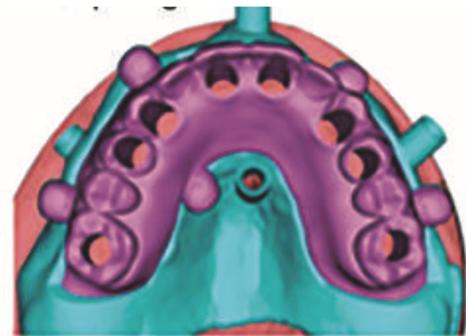


Figure 26 : étage prothétique (30)

III. Le guide à étage : revue de la littérature

1) Contexte :

Afin de placer le contexte de cette revue de la littérature, nous nous devons de rappeler que la prothèse guide le positionnement des implants. En effet, chaque étape du plan de traitement implanto-prothétique doit conduire à la réalisation finale du projet initial ; le premier écueil est le positionnement des implants en lien avec ce projet.

L'arrivée des guides stéréolithographiques a permis une avancée majeure : la mise en place de la prothèse provisoire est possible au moment de la pose des implants quand elle est prévue en amont de la chirurgie grâce à la planification sur logiciel.

Selon la littérature, le guide stéréolithographique permet un placement implantaire plus prédictible qu'avec un guide fabriqué au laboratoire à partir d'un guide radiologique ou qu'une chirurgie à main levée. (3)(4)

Malgré cette évolution majeure, les guides stéréolithographiques ne permettent qu'une prédictibilité chirurgicale d'environ de 4° en termes de déviation globale de l'implant. (3)

Cette prédictibilité n'étant que relative, elle ne permet souvent pas la pose de la prothèse provisoire lorsque cette dernière est fabriquée avant la mise en place des implants. On procède donc le plus souvent à une mise en charge de la prothèse dans les 48h après la pose des implants en réalisant des empreintes de la situation clinique après la chirurgie.

Ceci implique alors une séance très longue d'empreintes et d'enregistrement de l'occlusion successivement à la chirurgie et le patient reste édenté le temps que la prothèse soit fabriquée.

De plus, dans le cas d'édentés complets, l'anatomie crestale est souvent peu propice au placement implantaire par la finesse de la crête mandibulaire ou la présence d'irrégularités osseuses post extractionnelles. La résection guidée est donc fondamentale pour recréer une crête adéquate à la pose d'implants et pour y adapter un guide de forage à appui osseux.

L'arrivée des guides à étages est donc prometteuse. Son système d'empilement de bases permet de guider le praticien de la résection osseuse jusqu'à la pose du provisoire. Ce ne sont donc que des chirurgies avec un guidage complet, et la prothèse provisoire est mise en place à partir d'un socle lui-même positionné sur le premier étage du guide fixé à l'os ; son positionnement devrait correspondre donc exactement à la position des implants.

Ces guides à étages sont finalement une récente évolution des guides stéréolithographiques ayant pour principaux objectifs de planifier la résection osseuse et faciliter le positionnement de la prothèse provisoire le jour de la mise en place des implants (les moyens de fixation de la prothèse provisoire correspondant exactement au positionnement des implants le socle n'étant pas déposé entre ces étapes).

Cette revue de la littérature cherche ainsi à faire le point sur la bibliographie actuelle concernant ces guides à étages qui semblent très prometteurs pour pallier les limites des guides stéréolithographiques actuels.

2) Objectif :

L'objectif de cette revue de la littérature est de faire le bilan sur les connaissances actuelles disponibles sur les guides à étages. Les principaux points positifs et négatifs sur cette technique chirurgicale seront détaillés.

La population étudiée correspond à des patients complètement édentés ou les patients nécessitant une édentation totale.

3) Matériel et méthodes :

a. Critères d'inclusion :

i. Types d'études :

Notre revue de la littérature a recueilli tout type d'études. Aucune limite de date de publication n'a été posée, le guide à étages étant un concept récent les articles devraient avoir une date de publication récente.

ii. Types de participants :

L'étude est centrée sur les patients totalement édentés ou les patients nécessitant une édentation totale.

iii. Types d'interventions :

L'intervention étudiée dans cette étude est la chirurgie implantaire guidée par planification statique (uniquement par guide à étages ou guides apparentés : successions de guides placés selon les mêmes repères osseux).

iv. Critère de jugement :

Le critère de jugement de notre revue est l'utilisation d'un guide de résection et/ou d'un guide prothétique.

b. Critères de non inclusion :

Les études concernant les patients partiellement édentés dont leurs dents ne sont pas condamnées ne seront pas incluses ainsi que lorsque la pose de l'implant est réalisée à main levée ou guidée par des guides différents d'un guide à étages.

c. Méthode de recherche des études :

La méthode de recherche des études cliniques de notre revue de la littérature s'est basée sur le protocole suivant :

- Recherche des mots clés libres et termes Mesh
- Détermination de l'équation de recherche
- Utilisation de l'équation de recherche dans le moteur de recherche suivant : PubMed
- Sélection des articles remplissant les critères de sélection

Nous avons tout d'abord centré notre recherche sur des termes Mesh afin d'obtenir une équation de recherche comprenant notre population cible, notre intervention et enfin l'intérêt principal de cette technique selon nous : ***“edentulous jaw AND computer aided surgery AND dental implant AND temporary prothesis”***.

Avec cette équation nous avons obtenu trop d'articles peu pertinents, tous évoquant des guides stéréolithographiques conventionnels.

Afin de préciser l'équation de recherche, nous avons cherché un terme Mesh évoquant directement le guide à étages mais sans succès.

Nous nous sommes alors tournés vers une équation de recherche comprenant des mots libres évoquant le guide à étages et avons obtenu cette nouvelle équation de recherche :

« stackable templates OR stackable implant placement guide OR stackable surgical templates ».

Cette nouvelle équation de recherche indiquait 7 articles pertinents présentant tous des cas guidés par guide à étages.

Nous avons procédé à une recherche manuelle qui nous a permis d'obtenir 7 articles supplémentaires.

d. Collecte des données et analyse :

Auteur + date	Nombre de patients	Logiciel de planification	Chirurgie	
			Nombre d'implants posés par patient	Technique chirurgicale
Papaspyridakos 2021 (29)	1	co-Diagnostix®	6	Lambeau de pleine épaisseur
Creagh 2020 (30)	1	Software Nemo Smile Design	8	Flapless
Garcia-Sala 2022 (28)	1	Meshmixer	6	Lambeau de pleine épaisseur
Fu 2020 (31)	1	Materialise	6	Lambeau de pleine épaisseur
Baruffaldi 2019 (26)	11	coDiagnostiX	< 6	Lambeau de pleine épaisseur
Salama 2018 (23)	1	BlueSkyPlan	6	Lambeau de pleine épaisseur
Alzoubi 2016 (24)	5	Anatomage Invivo-5 software	6	Lambeau de pleine épaisseur
Berreta 2017 (32)	1	3 Diagnosys	6	Flapless
	1	3 Diagnosys	4	Lambeau de pleine épaisseur
Lanis 2021 (33)	1	coDiagnostiX	5	Lambeau de pleine épaisseur
Costa 2020 (27)	1	NemoStudio software	8	Lambeau de pleine épaisseur
Orentlicher 2019 (34)	1	NR	4	Lambeau de pleine épaisseur
Teixeira 2019 (35)	1	BlueSkyPlan et Meshmixer	HS	Lambeau de pleine épaisseur
Lu 2021 (22)	4	BlueSkyPlan	6	Lambeau de pleine épaisseur
Granata 2021 (36)	1	3Diagnosys	6	Flapless
Makarov 2021 (37)	10	coDiagnostiX,	4 ou 6 ou unitaire	Lambeau de pleine épaisseur
Yang 2021 (38)	1	Materialise Magics	6	Lambeau de pleine épaisseur

Auteur + date	Guide					
	Nombre d'étages du guide	Fonction de l'étage	Fabrication du guide	Support du guide	Moyens de fixation du guide	Moyens de fixation des étages du guide
Papaspyridakos 2021 (29)	4	- placement pins - résection - forage - prothèse	Impression 3D	Muqueux	Non fixé	Pins (5)
Creagh 2020 (30)	3	- fixation socle - forage - prothèse	Impression 3D	Muqueux	Pins (3 vestibulaires et 1 palatin)	Emboitement
Garcia-Sala 2022 (28)	3	- 4 implants (déposé) - résection - 2 implants	Impression 3D	Dentaire	Pins (3 vestibulaires)	Magnétisme (5)
Fu 2020 (31)	3	- placement des pins - resection - forage	SLM	Dentaire	Pins (3)	Encoches
Baruffaldi 2019 (26)	3	- placement des pins - forage - prothèse	Impression 3D	Dentaire	Pins (4 vestibulaires)	Attachements boule
Salama 2018 (23)	3	- résection - forage - prothèse	Impression 3D	Osseux	Pins (3 vestibulaires)	Vis
Alzoubi 2016 (24)	3 guides successifs	- appui dentaire pour placement pins (dépose) - résection - forage	Stereolithographe (SLA)	Dentaire	Pins	3 guides successifs
Berreta 2017 (32)	2	- socle - forage	Impression 3D	Mixte (dentaire et muqueux)	Pins (4)	Vis
Lanis 2021 (33)	2	- résection - forage	Impression 3D	Muqueux	Pins (3)	Encoches
Costa 2020 (27)	3	- résection - forage - prothèse	Impression 3D	Pins	Pins	Magnétisme
Orentlicher 2019 (34)	3	- résection - forage - prothèse	NR	Dentaire	Pins	Vis
Teixeira 2019 (35)	2	- positionnement du socle - fenêtre d'abord	Impression 3D	Mixte (dentaire et osseux)	Non fixé	Magnétisme
Lu 2021 (22)	3	- résection - forage - prothèse	Impression 3D (métal ou résine)	Osseux	Pins (4 vestibulaires)	Emboitement

Granata 2021 (36)	4	- placement des pins - socle - forage - prothèse	Impression 3D	Dentaire	Pins (4 vestibulaires)	Attachements boules (3)
Makarov 2021 (37)	4 guides successifs	- placement des pins - résection - forage - prothèse	Impression 3D	Muqueux ou dentaire	Pins (latéraux)	4 guides successifs
Yang 2021 (38)	4	- placement des pins - socle - forage - prothèse	SLM	Dentaire	Pins (2 vestibulaires et 1 palatin)	Vis

Figure 27 : tableau personnel d'extraction des données brutes des articles sélectionnés

Auteur + date	Mise en charge des implants	Précision post op			
		Résection osseuse	Implant en cervical	Implant apical en	Angle déviation de l'implant
Papaspyridakos 2021 (29)	Immédiate	NR	NR	NR	NR
Creagh 2020 (30)	Immédiate	HS	NR	NR	NR
Garcia-Sala 2022 (28)	À 48H	NR	0,615 mm (0,07-1,73mm)	0,887 mm (0,07-1,91mm)	2,4° (0,0°-4,0°)
Fu 2020 (31)	Immédiate	NR	NR	NR	NR
Baruffaldi 2019 (26)	Immédiate	NR	NR	NR	NR
Salama 2018 (23)	Immédiate	NR	NR	NR	NR
Alzoubi 2016 (24)	Immédiate	1,98 mm	1,43 mm	1,90 mm	4,14°
Berreta 2017 (32)	Immédiate (35Ncm), mais provisoire <u>non</u> positionné par un étage du guide	NR	NR	NR	NR
Lanis 2021 (33)					
Costa 2020 (27)	NR	NR	NR	NR	NR
Orentlicher 2019 (34)	Immédiate	NR	0,44mm	1,21mm	3,01°
Teixeira 2019 (35)	Immédiate	NR	NR	NR	NR
Lu 2021 (22)	HS	NR	NR	NR	NR
Lu 2021 (22)	Immédiate	0.0248mm/6,03° (plan osseux)	NR	NR	NR
Granata 2021 (36)	Immédiate	NR	NR	NR	NR
Makarov 2021 (37)	Immédiate (si torque > 35 Ncm)	NR	NR	NR	NR
Yang 2021 (38)	Immédiate	NR	NR	NR	NR

Figure 28 : tableau personnel d'extraction des données brutes des articles sélectionnés

4) Résultats :

a. Description des études :

Nous avons recueilli 16 articles correspondant à nos critères d'inclusion. Tout article ne traitant pas d'un guide à étages ou d'un patient totalement édenté ou ne devant pas l'être a été exclu.

b. Qualité des études incluses :

Les études incluses sont des rapports de cas, elles correspondent à des études de faible niveau de preuve. Aucune conclusion ne peut être tirée à partir de ces données, et il n'est donc possible, à ce stade, de conclure sur une efficacité ou supériorité des guides à étages par rapport aux guides conventionnels.

c. Données brutes :

- Planification et chirurgie :

Concernant le logiciel de planification, les logiciels suivants ont été retrouvés : coDiagnostix® (Dental Wings) (n=4), 3 BlueSkyPlan® (Blue Sky Bio) (n=3), Materialise Magics® (Materialise) (n=2), 3Diagnosys® 3DIEMME (n=2), NemoStudio® (Nemotec) (n=2), Meshmixer® (Autodesk) (n=2), Anatomage Invivo-5 software® (Anatomage) (n=1).

81% des chirurgies ont été réalisées avec un lambeau de pleine épaisseur (résection osseuse nécessaire).

- Guide à étages :

Selon les cas cliniques, le tissu de support du guide est variable : 18,75% des auteurs utilisent des guides à appui muqueux, 12,5% présentent un guide à appui osseux, 43,75% présentent un guide à appui dentaire et 18,75% présentent un guide à appui mixte (dentaire et muqueux ou dentaire et osseux).

Sur les 16 articles sélectionnés, seuls 12,5% des guides étaient métalliques fabriqués par selective laser melting alors que les autres étaient en résine imprimés en 3 dimensions.

Concernant la stabilité du guide, 87,5% des articles présentent le socle du guide à étages stabilisé par des pins intra-osseux, placés en vestibulaire ou palatin au nombre de 3 ou 4. Seuls 12,5% des guides étaient non fixés, uniquement stabilisés par leur tissu de support (muqueux ou muqueux et dentaire).

2 articles présentent des chirurgies guidées par une succession de guides déposés et non empilés (3 ou 4 guides successifs) alors que 14 articles présentent des cas guidés par des guides à étages. Dans le cas des guides à étages, 3 guides ne contiennent que 2 étages, 8 guides 3 étages et 3 guides 4 étages.

Lorsque 4 étages sont présents, le 1^{er} est à appui dentaire afin de placer le socle grâce à des pins intra osseux. Cet étage est ensuite déposé et la résection osseuse est réalisée. Un guide de forage est positionné sur le socle puis remplacé par le guide contenant la prothèse provisoire une fois que les implants sont posés.

Lorsque 3 étages sont présents, l'appui dentaire n'est pas présent (cas de patients déjà édentés).

Lorsque 2 étages sont présents, un socle est présent sur lequel vient se positionner un guide de forage ou un guide pour la voie d'abord sinusienne.

Différents moyens de fixations sont présentés pour relier les étages du guide entre eux : 5 auteurs utilisent des vis, 2 utilisent des attachements boules, 3 utilisent des attachements magnétiques, 2 des encoches et enfin 2 guides s'emboîtent.

Dans toutes les études recueillies, aucun problème de placement des étages ou de stabilisation n'a été rapportée.

- Mise en charge en place de la prothèse provisoire et précision du guide à étages :

81,25% des articles réfèrent une mise en charge de la prothèse immédiatement après la pose des implants.

Concernant la précision de la résection osseuse et le placement des implants par rapport à la planification, seuls 4 articles nous rapportent des données quantitatives.

Elles sont issues de la superposition d'un CBCT préopératoire avec planification et d'un CBCT post opératoire de la situation réelle. La différence entre les deux niveaux osseux ou les positions implantaire est analysée grâce à un logiciel de calcul et les données sont exprimées en mm ou en degrés selon la valeur indiquée.

La précision du niveau osseux après résection comparé à la planification varie entre 0,0248mm et 1,98mm selon les auteurs, et un auteur rapporte une inclinaison du plan osseux de 6,03°.

Concernant la position des implants, la précision varie entre 0,44mm et 1,43mm à l'apex de l'implant, entre 0,887 et 1,90mm au col de l'implant et entre 2,4° et 4,14° en déviation globale de l'implant selon les auteurs. (28) (24) (27)

- Complications post opératoires :

Seuls peu d'articles présentent les protocoles de contrôle et complications post-opératoires. Lorsque c'est énoncé, les auteurs réalisent une radiographie panoramique et examen clinique tous les 6 mois.

Un auteur rapporte 100% de succès implantaire à 1 an, sans signe de mucosite/péri implantite, ni de complication prothétique.

Un autre auteur rapporte 100% de survie des prothèses à 1 an, 70% de succès prothétique, et 98,18% du survie implantaire.

Un dernier rapporte des résultats stables à 6 mois.

(Le succès étant considéré comme l'implant encore en bouche et la prothèse vissée sur les implants).

5) Discussion :

Cette revue de la littérature, nous a permis d'identifier plusieurs points importants, positifs ou négatifs dans l'utilisation du guide à étages.

- Positionnement du guide :

Le guide à étages étant constitué de plusieurs parties, il est possible de l'adapter à une situation clinique évolutive.

En cas de patients présentant une dentition terminale, il paraît intéressant, si possible, de garder les dents jusqu'au jour de la chirurgie pour procéder à une extraction/implantation/mise en charge immédiate des implants quand les conditions biologiques sont réunies.

Le guide à étages permet de s'appuyer sur les dents restantes dans un premier temps afin de placer un socle fixé grâce à des pins intra osseux. (31) (24)

Il est ainsi très important d'anticiper lors de la première consultation toute la séquence de traitement pour minimiser le risque d'erreurs. (26)

Les guides à appuis dentaires sont reconnus dans la littérature comme étant les guides les plus précis. (13)

Ainsi cette technique permet au mieux d'exploiter les dents restantes avant d'ancrer le socle du guide dans une position idéale de façon stable.

Si les dents sont trop mobiles (pour cause de problème parodontal par exemple), une attelle de contention est recommandée par certains auteurs pour s'affranchir de tout micromouvement qui déstabiliserait la mise en place du socle. (38) D'autres indiquent que la mobilité des dents support du guide n'a que peu d'influence. (26)

Une empreinte optique est aussi préférable pour éviter de faire bouger les dents lors d'une empreinte physique ; la planification qui en découlerait serait alors faussée. (37)

Cette technique n'est réalisable que si au minimum 3 dents sont présentes et réparties sur les deux héli-arcades en antérieur et en postérieur. (38)

De plus, dans les cas d'extraction/implantation immédiate, un guide muco ou ostéo porté peut être difficile à positionner car le mouvement de luxation des dents lors de l'extraction peut déformer les tables osseuses et il devient alors impossible de placer le guide sur ces tissus de

support modifiés. Même sans déformation, la stabilisation d'une surface plane sur les alvéoles d'extraction n'est pas aisée. (36) Le guide à étages par son socle permet alors d'obtenir une base solidement fixée par des pins intra-osseux et correctement positionnée grâce à l'appui dentaire utilisé avant les extractions ; nous nous s'affranchissons ainsi de problèmes de placement et de stabilisation du guide qui sont souvent à l'origine de placements implantaires erronés.

D'après Mangano et al. (39) il est important d'appuyer le guide sur de petites surfaces spécifiques plutôt que sur de larges étendues pour augmenter la précision du placement du guide à appui dentaire (plus la surface d'appui est importante plus le risque d'erreur augmente).

De plus, Makarov et al. souligne l'importance d'éviter les zones de compression entre le tissu de support du guide et le guide chirurgical pour éviter de déstabiliser ce dernier. (37)

Lorsque le socle du guide à étage est à appui muqueux, il peut y avoir une erreur de positionnement à cause de l'œdème causé par l'injection de l'anesthésie. Dans ces situations cliniques il est important d'injecter le produit anesthésique très apicalement dans le fond du vestibule. (32)

En cas d'ouverture buccale limitée, l'empilement des étages du guide peut être très compliquée voire impossible, l'utilisation de ces guides est alors contre-indiquée. (29)

- Superposition des étages du guide :

D'après Costa et al., les attachements magnétiques permettent un empilement des bases du guide stable et reproductible. (27)

- Planification possible en cas de résection de crête :

L'utilisation d'un guide de forage après un fraisage osseux à main levée est impossible car le tissu de support du guide est imprévisible. En effet, dans le cadre de patients totalement édentés, le guide de forage aura un appui osseux (si une résection osseuse est nécessaire, un lambeau de pleine épaisseur est levé donc un appui muqueux est inenvisageable).

À main levée, le praticien ne pourra pas atteindre une précision suffisante pour anticiper un guide de forage adapté. Après résection, le chirurgien perd ses repères anatomiques ce qui peut rendre encore plus difficile le positionnement du guide ultérieur. (26)

L'intérêt de guider la résection osseuse est majeur car il permettrait d'utiliser des guides de forage même chez des patients nécessitant une régularisation de crête.

Une fois ces pins du socle en place, la résection peut être réalisée jusqu'à la limite du guide qui correspond au rebord osseux idéal planifié sur logiciel en amont de la chirurgie.

Ensuite un guide de forage est « emboîté » sur le socle pour permettre de guider la chirurgie de la régularisation de crête jusqu'à la pose de l'implant. De cette manière, la résection est guidée et le nouveau niveau osseux est fidèle à la planification. (29) (28) (31) (23) (24) (33) (27) (34) (22)

- Mise en place du provisoire :

La mise en charge immédiate de la prothèse provisoire ostéo-ancrée permet d'éviter de visser/dévisser plusieurs fois les supra-structures implantaires quand l'implant n'est pas encore ostéointégré. En effet, la prothèse provisoire est directement mise en place et n'est plus dévissée durant plusieurs mois jusqu'à ostéointégration complète des implants. D'Haese et al montrent qu'une mobilisation trop précoce des implants lors d'un vissage/dévissage risque d'entraîner une déviation des axes implantaires par rapport à la planification. (40)

De plus, la prothèse est réalisée avant la chirurgie, on évite des empreintes post opératoires qui sont plus complexes à réaliser en post-opératoire immédiat. Si l'empreinte est erronée, la prothèse provisoire ne sera pas adaptée. (37)

Lorsque la prothèse provisoire est obtenue par transformation de la prothèse amovible complète transitoire, il y a plus de risques de fracture. Il vaut donc mieux refaire de zéro une nouvelle prothèse provisoire ostéo-ancrée et y ajouter un renfort métallique.

De plus, le flux numérique en s'affranchissant des étapes d'empreinte permet de fabriquer les prothèses dans des matériaux plus résistants. (37)

Lors du design virtuel de la prothèse provisoire sur logiciel, la relation de cette dernière avec les implants est précisément étudiée et des piliers angulés peuvent être choisis si besoin. Cette étape assure une passivité nécessaire de la prothèse pour éviter toute sollicitation iatrogène des implants durant la phase d'ostéointégration. (36)

En cas d'utilisation d'un guide stéréolithographique classique, la littérature rapporte beaucoup de complications à court (18,8%) et long (12%) termes lors de mise en charge immédiate telles que des fractures, désordres occlusaux, défauts d'adaptation lors de la pose du provisoire, dévissage des vis. (26)

D'après Makarov et al., le seul auteur ayant évoqué des résultats post opératoires, le guide à étage montre des résultats prometteurs. (37)

Ce phénomène s'explique par une perte des repères après la pose des implants pour le repositionnement de la prothèse. L'axe n'est pas parfaitement correspondant à celui de la planification et la prothèse est alors mise en place déviée. Le guide à étage permet de garder des repères jusqu'à la mise en place du provisoire évitant alors ce phénomène. (26)

D'autres auteurs comme Alzoubi et al. évoquent un risque de désordre biologique entre la muqueuse et le pilier (causé par un microgap) qui influencerait négativement la remodelisation osseuse en post opératoire lors de mise en charge immédiate. (24)

- Facilitation de la séquence de traitement :

Le temps de planification est chronophage mais cette étape permet de gagner plusieurs séances cliniques et du temps post chirurgical. En effet, la restauration provisoire peut être mise en place directement après la pose des implants évitant ainsi de laisser le patient 24 ou

48h édenté, et lui évitant aussi une séance d’empreinte et d’enregistrement d’occlusion souvent mal tolérée à la sortie du bloc opératoire. (27,34)

- Diminution des comorbidités du patient :

Ces guides statiques permettent de s’affranchir de la nécessité de lever un lambeau de pleine épaisseur (à condition qu’une quantité suffisante de tissu kératinisé soit présente (41)). En effet, il n’est plus indispensable de voir la structure osseuse sous-jacente car le guide a été conçu à partir d’une analyse 3D sur cone beam minutieuse et précise. La chirurgie peut alors être réalisée sans lambeau ce qui diminue nettement le temps opératoire et les comorbidités post opératoires (saignement, douleurs, œdème, hématome). (34)

Le confort du patient et du chirurgien sont augmentés et la mise en charge immédiate des implants permet aussi d’éviter comme expliqué précédemment une séance d’empreinte difficile. (36)

- Intégration au flux numérique de travail :

Cette aide chirurgicale s’inscrit pleinement dans le flux numérique de travail. En effet, la planification est réalisée virtuellement sur un logiciel dédié par superposition d’un fichier DICOM issu de l’examen radiologique 3D et d’un fichier STL après empreinte optique, wax up virtuel ou scannage d’un modèle issu d’une empreinte physique. L’impression 3D des guides résine est ensuite réalisée à partir d’un nouveau fichier STL créé sur le logiciel.

Les avantages de ce flux numérique de travail sont nombreux : moins de séances cliniques sont nécessaires, la prothèse provisoire est mieux adaptée et les placements des implants sont plus reproductibles. (27)

- Coût financier du guide à étages :

La fabrication d’un guide rajoute un coût au traitement. (32)

La fabrication des attaches magnétiques est particulièrement onéreuse. (27)

- En cas de sinus lift concomitant :

Lorsque le niveau osseux sous sinusien est insuffisant et ne permet pas la pose d’implant, il devient nécessaire de recourir à une greffe osseuse intra sinusienne afin d’augmenter la hauteur osseuse crestale.

D’après la classification de Misch, il est important de mesurer la hauteur osseuse résiduelle afin d’opter pour un comblement osseux par voie crestale concomitante à la pose de l’implant, par voie latérale concomitante à la pose d’implant ou par voie latérale et pose d’implant différée.

	Hauteur résiduelle	Procédure approuvée
Sub antral 1	Supérieure ou égale à 2 mm	Pose d'implant sans soulevé de sinus
Sub antral 2	Comprise entre 8 et 12 mm	Pose d'implant précédé d'un soulevé de sinus crestal
Sub antral 3	Comprise entre 5 et 8 mm	Pose d'implant combiné à un sinus latéral, si la stabilité primaire est suffisante
Sub antral 4	Inférieure à 5 mm	Technique en deux temps : Sinus latéral puis pose d'implant

Figure 29 : tableau personnel : voie d'abord recommandée en fonction du volume osseux sous sinusien présent (7)

Lorsqu'une greffe sous sinusienne par voie latérale concomitante à la pose d'implant est envisagée, le guide à étages peut permettre d'obtenir une partie guide de forage ainsi qu'une partie pour dessiner la fenêtre d'abord sinusale superposées l'une à l'autre. (35)

Quand un septum osseux intra sinusien est mis en évidence lors de l'examen radiographique pré opératoire, un guide d'accès est indiqué.

Le risque de perforation de la membrane sinusienne est aussi diminué.

Cependant, en cas d'une faible élasticité muqueuse le guide peut être difficile à placer. (35)

- Différences de matériaux du guide à étages :

	Fabrication	Avantages	Inconvénients
Résine	Impression 3D, plus rapide et moins onéreux	Si ajustage imparfait, il est possible d'insérer le guide grâce à l'élasticité du matériau	Risque de fracture plus important Moins rigide, possible déformation
Métal	SLM, plus long et plus onéreux	Risque de fracture moindre Plus rigide, moins de déformation Plus fin donc meilleure visibilité	Si erreur d'adaptation, le guide est impossible à mettre en place

Figure 30 : tableau personnel : caractéristiques des différents matériaux d'un guide à étages (38)

- Guides successifs et non empilés :

Deux articles présentent une succession de guides placés les uns à la suite des autres sur les mêmes repères osseux laissés par les pins.

Une erreur de repositionnement est plus probable qu'avec un guide à étages où un socle est laissé en place fixé de façon stable. Lors du repositionnement du guide, il risque d'interférer avec le lambeau, les implants posés, ou encore le praticien peut être gêné par le saignement, l'œdème ou une résistance osseuse qui empêcherait le vissage correct des pins dans les empreintes laissées par le guide précédent. (26)

- Risque d'erreur toujours présent :

Malgré l'espoir très prometteur de ce guide à étages, il est important de rester lucide sur le fait que des erreurs peuvent s'accumuler tout au long du traitement (acquisition CBCT et wax up, distorsion de la planification fabrication du guide, calibration de l'imprimante 3D, phase chirurgicale, placement fixation du guide lors de la chirurgie, empilement des bases).

L'expérience du praticien est indispensable afin de garder un regard critique sur la situation et pouvoir reprendre la main en cas d'erreur. (28) (26) (33) (32)

Il semble aussi nécessaire de continuer à développer les logiciels informatiques afin d'augmenter la précision du guidage informatique.

6) Implications en pratique :

La technique chirurgicale présentée semble compatible avec une pratique quotidienne.

Elle ne diffère que peu de l'utilisation d'un guide stéréolithographique conventionnel qui est déjà utilisé quotidiennement par des centaines de praticiens.

Les obstacles résident principalement dans l'augmentation du coût de traitement, dans la nécessité d'acquérir les connaissances et l'expérience dans ce domaine (au même titre que toute nouvelle technique, cette pratique nécessite une courbe d'apprentissage) et de s'équiper avec des logiciels spécifiques (investissement initial obligatoire). Il est aussi important de réorganiser ses temps de consultation afin de réaliser une planification réfléchie et complète de chaque cas clinique.

En contrepartie, le confort du praticien et du patient sont nettement augmentés et la chirurgie devient plus reproductible.

Conclusion

Depuis les années 2000, le progrès dans le domaine de l'implantologie orale, les situations cliniques complexes et l'exigence de plus en plus poussée de nos patients mettent clairement en évidence la nécessité de guider les chirurgies implantaire.

L'implantologie assistée par ordinateur a récemment beaucoup évolué, notamment depuis l'apparition des logiciels de planification pour le guidage dynamique et la conception de guides chirurgicaux statiques.

Les guides stéréolithographiques conventionnels ont permis d'augmenter la précision et la reproductibilité de la pose d'implants afin d'augmenter le taux de réussite des réhabilitations implanto-portées. Cependant cette amélioration n'est que relative car certaines situations cliniques restent très difficiles à gérer ; notamment en cas d'aménagement osseux pré implantaire nécessaire ou lors de la mise en charge immédiate des prothèses provisoires.

L'arrivée récente des guides à étages semble très prometteuse. En effet elle paraît permettre de palier les limites des guides conventionnels dans les cas difficiles ; l'empilement des étages guidant le praticien de l'élévation du lambeau jusqu'à la mise en bouche de la restauration prothétique.

D'autres techniques de guidage navigué, sans guide physique, montrent aussi des premiers résultats encourageants au moins aussi précis que les guides statiques.

Cette revue de la littérature permet de faire un état des lieux des connaissances actuelles sur le guide à étages. Les études recueillies sont toutes de faible niveau de preuve.

Ainsi, une étude ultérieure à fort niveau de preuve reste à mener pour conclure sur une éventuelle amélioration de la précision implantaire et survie prothétique à long terme.

Table des figures

<i>Figure 1 : superposition radiographique pré et post opératoire</i>	3
<i>Figure 2 : comparaison de la précision des guides en fonction de leur tissu de support</i>	4
<i>Figure 3 : capture d'écran d'une planification. Source : Planmeca.com</i>	6
<i>Figure 4 : tableau personnel : avantages et inconvénients de la planification dynamique</i>	7
<i>Figure 5 : différents types osseux selon Lekholm et Zarb</i>	8
<i>Figure 6 : capture d'écran d'une planification dynamique. Source : Planmeca.com</i>	9
<i>Figure 7 : tableau personnel : rappel des distances de sécurité</i>	9
<i>Figure 8 : marquage du trajet du nerf alvéolaire inférieur. Source : sciencesdirectes.com</i>	10
<i>Figure 9 : guide conventionnel de forage à appui osseux. Source : crowncceram.com</i>	11
<i>Figure 10 : capture d'écran lors de la conception d'un guide sur un logiciel de planification.</i>	13
<i>Figure 11 : schématisation de l'impression par dépôt de matière fondue</i>	14
<i>Figure 12 : schématisation de la technique polyjet</i>	15
<i>Figure 13 : schématisation de la technique "digital light processing"</i>	15
<i>Figure 14 : schématisation de la technique d'impression par frittage laser</i>	16
<i>Figure 15 : schématisation de la technique d'impression 3D par stéréolithographie</i>	16
<i>Figure 16 : tableau personnel : avantages et inconvénients des différentes techniques d'impression 3D.</i>	17
<i>Figure 17 : tableau personnel : différents tissus de support pour les guides implantaires</i>	18
<i>Figure 18 : tableau personnel : guides implantaires ouverts ou fermés</i>	19
<i>Figure 19 : tableau personnel : différents degrés de guidage en planification statique</i>	19
<i>Figure 20 : Courtoisie Dr Silvestri : socle et appui dentaire du guide à étages</i>	26
<i>Figure 21 : Courtoisie Dr Silvestri : guide forage en appui sur le socle</i>	26
<i>Figure 22 : étage prothétique</i>	27
<i>Figure 23 : Base du guide</i>	29
<i>Figure 24 : Guide de positionnement</i>	29
<i>Figure 25 : Guide de forage</i>	29
<i>Figure 26 : étage prothétique</i>	29
<i>Figure 27 : tableau personnel d'extraction des données brutes des articles sélectionnés</i>	36
<i>Figure 28 : tableau personnel d'extraction des données brutes des articles sélectionnés</i>	37
<i>Figure 29 : tableau personnel : voie d'abord recommandée en fonction du volume osseux sous sinusien présent</i>	44
<i>Figure 30 : tableau personnel : caractéristiques des différents matériaux d'un guide à étages</i>	44

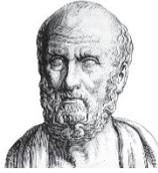
Bibliographie

1. D'haese J, Ackhurst J, Wismeijer D, De Bruyn H, Tahmaseb A. Current state of the art of computer-guided implant surgery. *Periodontol 2000*. févr 2017;73(1):121-33.
2. Aydemir CA, Arisan V. Accuracy of dental implant placement via dynamic navigation or the freehand method: A split-mouth randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res*. mars 2020;31(3):255-63.
3. Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D, Coucke W, Evans C. The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res*. oct 2018;29(S16):416-35.
4. Gargallo-Albiol J, Barootchi S, Salomó-Coll O, Wang H lay. Advantages and disadvantages of implant navigation surgery. A systematic review. *Ann Anat - Anat Anz*. sept 2019;225:1-10.
5. Wei S, Zhu Y, Wei J, Zhang C, Shi J, Lai H. Accuracy of dynamic navigation in implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res*. avr 2021;32(4):383-93.
6. Lekholm U, Zarb GA. Patient selection and preparation. *Tissue integrated prostheses: osseointegration in clinical dentistry*. Quintessence Publishing Company. 1985;199-209.
7. Misch C. E. Maxillary sinus augmentation for endosteal implants : Organized alternative treatment plans. *Int J Oral Implant*. 1987;
8. Misch CE, Judy KW. Classification of partially edentulous arches for implant dentistry. *Int J Oral Implantol*. 1987;4(2):7-13.
9. Davarpanah M, Szmukler-Moncler S, Davarpanah K, Rajzbaum P. *Implantologie assistée par ordinateur*. Édition CdP. France; 2011.
10. Tattan M, Chambrone L, González-Martín O, Avila-Ortiz G. Static computer-aided, partially guided, and free-handed implant placement: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Oral Implants Res*. oct 2020;31(10):889-916.
11. Larripa M. Guide chirurgical implantaire par stéréolithographie: planification numérique par le logiciel Blue Sky Plan® et impression 3D au cabinet dentaire. :78.
12. Varga E, Antal M, Major L, Kiscsatári R, Braunitzer G, Piffkó J. Guidance means accuracy: A randomized clinical trial on freehand versus guided dental implantation. *Clin Oral Implants Res*. mai 2020;31(5):417-30.
13. Geng W, Liu C, Su Y, Li J, Zhou Y. Accuracy of different types of computer-aided design/ computer-aided manufacturing surgical guides for dental implant placement. :8.

14. 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.* sept 2007;34(9):816-21.
15. Loubele M, Jacobs R, Maes F, Denis K, White S, Coudyzer W, et al. Image quality vs radiation dose of four cone beam computed tomography scanners. *Dentomaxillofacial Radiol.* sept 2008;37(6):309-19.
16. Liang X, Lambrichts I, Sun Y, Denis K, Hassan B, Li L, et al. A comparative evaluation of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT). Part II: On 3D model accuracy. *Eur J Radiol.* août 2010;75(2):270-4.
17. 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.* sept 2009;20:73-86.
18. Pozzi A, Polizzi G, Moy PK. Guided surgery with tooth-supported templates for single missing teeth: A critical review. *Eur J Oral Implant.* :20.
19. Sigcho López DA, García I, Da Silva Salomao G, Cruz Laganá D. Potential Deviation Factors Affecting Stereolithographic Surgical Guides: A Systematic Review. *Implant Dent.* févr 2019;28(1):68-73.
20. Cassetta M, Di Mambro A, Giansanti M, Stefanelli LV, Barbato E. How does an error in positioning the template affect the accuracy of implants inserted using a single fixed mucosa-supported stereolithographic surgical guide? *Int J Oral Maxillofac Surg.* janv 2014;43(1):85-92.
21. Cassetta M, Di Mambro A, Giansanti M, Stefanelli LV, Barbato E. Is it possible to improve the accuracy of implants inserted with a stereolithographic surgical guide by reducing the tolerance between mechanical components? *Int J Oral Maxillofac Surg.* juill 2013;42(7):887-90.
22. Jia Yi Lu. Immediate precision of the digital osteotomy template in the digital stackable template: a clinical study. déc 2021;
23. Salama M, Pozzi A, Clark W, Tadros M, Hansson L, Adar P. The “Scalloped Guide”: A Proof-of-Concept Technique for a Digitally Streamlined, Pink-Free Full-Arch Implant Protocol. *Int J Periodontics Restorative Dent.* nov 2018;38(6):791-8.
24. Alzoubi F, Massoomi N, Nattestad A. Bone Reduction to Facilitate Immediate Implant Placement and Loading Using CAD/CAM Surgical Guides for Patients With Terminal Dentition. *J Oral Implantol.* 1 oct 2016;42(5):406-10.
25. Mijiritsky E, Ben Zaken H, Shacham M, Cinar IC, Tore C, Nagy K, et al. Variety of Surgical Guides and Protocols for Bone Reduction Prior to Implant Placement: A Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health.* 27 févr 2021;18(5):2341.

26. Baruffaldi A, Baruffaldi A, Baruffaldi M, Maiorana C, Poli PP. A suggested protocol to increase the accuracy of prosthetic phases in case of full-arch model-free fully guided computer-aided implant placement and immediate loading. *Oral Maxillofac Surg.* sept 2020;24(3):343-51.
27. Costa AJ de M, Teixeira Neto AD, Burgoa S, Gutierrez V, Cortes ARG. Fully Digital Workflow with Magnetically Connected Guides for Full-Arch Implant Rehabilitation Following Guided Alveolar Ridge Reduction. *J Prosthodont.* mars 2020;29(3):272-6.
28. García-Sala Bonmati F, Pérez-Barquero JA, Ilzarbe Ripoll LM, Labaig Rueda C, Fernandez-Estevan L, Revilla-León M. An additively manufactured, magnetically retained, and stackable implant surgical guide: A dental technique. *J Prosthet Dent.* janv 2022;S0022391321005631.
29. Papaspyridakos P, De Souza A, Bathija A, Kang K, Chochlidakis K. Complete Digital Workflow for Mandibular Full-Arch Implant Rehabilitation in 3 Appointments. *J Prosthodont.* juill 2021;30(6):548-52.
30. Creagh J, Bohner L, Sesma N, Coachman C. Integrating a Facially Driven Treatment Planning to the Digital Workflow for Rehabilitation of Edentulous Arches: A Case Report. *J Contemp Dent Pract.* 13 avr 2021;21(12):1393-7.
31. Fu X, Yang J, Luo J, Zhang Y. Three-dimensional facial esthetics-driven computer-assisted osteotomy and implant placement for immediate restoration of a failing dentition with a protruded maxilla. *J Prosthet Dent.* déc 2020;S0022391320306612.
32. Beretta M, Poli PP, Tansella S, Maiorana C. Virtually guided alveolar ridge reduction combined with computer-aided implant placement for a bimaxillary implant-supported rehabilitation: A clinical report. *J Prosthet Dent.* août 2018;120(2):168-72.
33. Lanis A, Tahmaseb A. Computer-assisted bone reduction and static computer-guided implant surgery in a fully edentulous patient: a technique report Computer-assistierte Knochenreduktion und statisch computergeführte Implantatchirurgie bei einem unbezahnten Patienten: ein technischer Bericht. *Int J Comput Dent.* :16.
34. Orentlicher G, Horowitz A, Kobren L. Computer-Guided Dental Implant Treatment of Complete Arch Restoration of Edentulous and Terminal Dentition Patients. *Oral Maxillofac Surg Clin N Am.* août 2019;31(3):399-426.
35. Teixeira KN, Sakurada MA, Philippi AG, Gonçalves TMSV. Use of a stackable surgical guide to improve the accuracy of the lateral wall approach for sinus grafting in the presence of a sinus septum. *Int J Oral Maxillofac Surg.* oct 2021;50(10):1383-5.
36. Granata S, Sforza NM, Giberti L, Stellini E, Di Fiore A. Computer-guided implant surgery for immediate implanting and loading: The STIL technique. *J Prosthet Dent.* août 2021;126(2):155-63.
37. Makarov N, Pompa G, Papi P. Computer-assisted implant placement and full-arch immediate loading with digitally prefabricated provisional prostheses without cast: a

- prospective pilot cohort study. *Int J Implant Dent.* déc 2021;7(1):80.
38. Yang J, Liu Q, Yue Z, Hou J, Afrashtehfar KI. Digital Workflow for Full-Arch Immediate Implant Placement Using a Stackable Surgical Guide Fabricated Using SLM Technology. *J Prosthodont.* oct 2021;30(8):645-50.
 39. Mangano F, Hauschild U, Admakin O. Full in-Office Guided Surgery with Open Selective Tooth-Supported Templates: A Prospective Clinical Study on 20 Patients. *Int J Environ Res Public Health.* 25 oct 2018;15(11):2361.
 40. D'haese 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: Mucosally Supported Stereolithographic Surgical Guides. *Clin Implant Dent Relat Res.* avr 2012;14(2):293-303.
 41. Deeb JG, Bencharit S, Loschiavo CA, Yeung M, Laskin D, Deeb GR. Do Implant Surgical Guides Allow an Adequate Zone of Keratinized Tissue for Flapless Surgery? *J Oral Maxillofac Surg.* déc 2018;76(12):2540-50.
 42. Kalaivani G, Balaji V, Manikandan D, Rohini G. Expectation and reality of guided implant surgery protocol using computer-assisted static and dynamic navigation system at present scenario: Evidence-based literature review. *J Indian Soc Periodontol.* 2020;24(5):398.
 43. Kaewsiri D, Panmekiate S, Subbalekha K, Mattheos N, Pimkhaokham A. The accuracy of static vs. dynamic computer-assisted implant surgery in single tooth space: A randomized controlled trial. *Clin Oral Implants Res.* 7 mai 2019;clr.13435.
 44. Tahmaseb A, Wismeijer D, Coucke W, Derksen W. Computer Technology Applications in Surgical Implant Dentistry: A Systematic Review. *Int J Oral Maxillofac Implants.* janv 2014;29(Supplement):25-42.



SERMENT MEDICAL

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'HIPPOCRATE.

Je promets et je jure, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine Dentaire.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.

J'informerai mes patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des connaissances pour forcer les consciences.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

Respectueuse et reconnaissante envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leur père.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois déshonorée et méprisée de mes confrères si j'y manque.

MARTEAU Camille – Le guide chirurgical implantaire à étages : une solution aux limites des guides chirurgicaux implantaires conventionnels ?

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix-Marseille Université : 2022

Rubrique de classement : Chirurgie implantaire.

Résumé :

Depuis le développement de l'informatique au service de l'odontologie, la chirurgie implantaire tend de plus en plus à être guidée par une planification virtuelle préalable. L'arrivée des guides chirurgicaux stéréolithographiques a permis d'envisager la mise en charge immédiate d'une prothèse provisoire transvissée directement après la pose des implants. Cependant le manque de précision de ces guides conventionnels ne permet pas d'envisager cette mise en charge immédiate de manière reproductible au même titre que lorsque des aménagements osseux pré implantaires sont à envisager.

Un nouveau type de guide à étages a récemment été développé et semble prometteur pour pallier les limites des guides statiques actuels. Ce travail a pour objectif de faire l'état des connaissances actuelles sur le guide à étages.

Mots-clés :

Guide à étages – Chirurgie implantaire guidée – Implant dentaire – Édentés complets – Mise en charge immédiate

MARTEAU Camille – The stackable implant surgical guide : a solution to the limitations of conventional implant surgical guides ?

Abstract:

Since the development of computer technology in dentistry, implant surgery is increasingly guided by virtual pre-planning. The arrival of stereolithographic surgical guides has made it possible to consider the immediate loading of a temporary screw-retained prosthesis directly after implant placement. However, the lack of precision of these conventional guides makes it impossible to envisage this immediate loading in the same way as when pre-implant bone modifications are to be considered.

A new type of stackable guide has recently been developed and seems promising to overcome the limitations of current static guides. The aim of this work is to review the current state of knowledge on the stackable guide.

Keywords :

Stackable surgical template – Guided surgery – Dental implant – Edentulous jaw – Immediate dental implant loading.