

AVERTISSEMENT

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.

UNIVERSITÉ DE PARIS

FACULTÉ DE SANTÉ

UFR D'ODONTOLOGIE

Année 2021

N° D00

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le :

Par

Phœbé KAMIONER

**Apport du numérique dans la technique d'extraction,
implantation et mise en esthétique immédiate au secteur maxillaire
antérieur**

Dirigée par M. le Docteur Paul Laccourreye

JURY

M. le Professeur Philippe Pirnay

Président

M. le Docteur Jean - Pierre Attal

Assesseur

Mme le Docteur Francesca Mangione

Assesseur

M. le Docteur Paul Laccourreye

Assesseur

M. le Docteur Farid Ghoul

Invité



L'auteur s'engage à respecter les droits des tiers, et notamment les droits de propriété intellectuelle. Dans l'hypothèse où la thèse d'exercice 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. Le droit de citations doit s'exercer avec rigueur et discernement. Certaines citations peuvent comporter un extrait textuel de la source. Cet extrait textuel doit être relativement court (une quinzaine de lignes tout au plus), mis entre guillemets ou clairement séparé du corps du texte et bien évidemment référencé en citation. En ce qui concerne la citation sans extrait textuel (mention d'idées ou concepts originaux, données chiffrées, figures, etc.), il faut également en citer la source. Toute figure, tableau, graphique reproduit doit également être accompagné de la citation de la source. L'auteur est responsable du contenu de sa thèse d'exercice. Il garantit l'Université contre tout recours. Elle ne pourra en aucun cas être tenue responsable de l'atteinte aux droits d'un tiers.

Phœbé KAMIONER

Tableau des enseignants de l'UFR d'Odontologie

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MAÎTRES DE CONFÉRENCES
1. DÉVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PRÉVENTION	ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE	Mme M. AUJAY DE LA DURE-MOLLA Mme É. DURSUN Mme S. VITAL	Mme A.-L. BONNET M. F. COURSON Mme A. VANDERZWALM
	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE	Mme E. LE NORCY	Mme M. BENAHMED M. C. DUNGLAS M. P. GARREC Mme A. KAMOUN Mme B. VI-FANE
	PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE	Mme S. AZOGUI-LEVY M. P. PIRNAY	Mme A.-C. BAS Mme A. GERMA Mme V. SMAIL-FAUGERON Mme A. TENENBAUM
2. CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE	PARODONTOLOGIE	Mme F. ANAGNOSTOU M. M. BIOSSE DUPLAN Mme M.-C. CARRA Mme M.-L. COLOMBIER Mme M. GOSSET Mme H. RANGÉ	M. A. BRUN M. D. GUEZ M. S. KERNER M. F. MORA
	CHIRURGIE ORALE	Mme G. LESCAILLE M. L. MAMAN Mme L. RADOÏ M. Y. ROCHE	Mme V. BAAROUN M. B. COURRIER Mme A.-L. EJEIL M. F. GAULTIER M. A. HADIDA M. N. MOREAU M. T. NGUYEN Mme J. ROCHEFORT Mme I. TAÏHI
	BIOLOGIE ORALE	Mme A. C. AZEVEDO (PU associée) Mme C. BARDET (PR) Mme A. BERDAL Mme C. CHAUSSAIN M. V. DESCROIX M. B. FOURNIER M. B. GOGLY Mme R. KOZYRAKI Mme S. SÉGUIER	Mme C. ANDRIQUE (MCU associée) M. C.-D. ARRETO M. J. BOUCHET (MCF) Mme H. CHARDIN M. P. COLLIN Mme M.-H. COTTET Mme A. COUDERT (MCF) M. F. FERRÉ Mme C. GORIN Mme S. HOUARI-MEJRI Mme J. ISAAC (MCF) M. O. LE MAY M. G. LIGNON (MCU associé) Mme N. NOWWAROTE (MCU associé)
3. RÉHABILITATION ORALE (DÉBUT)	DENTISTERIE RESTAURATRICE ENDODONTIE	Mme T. BOUKPESSI Mme F. CHEMLA M. P. COLON Mme C. GAUCHER	Mme F. BERÈS Mme C. BESNAULT M. É. BONTE Mme A.-M. COLLIGNON M. F. DECUP M. P. FRANÇOIS Mme A. HARTMANN M. G. KUHN Mme C. MESGOUÉZ-MENEZ Mme C. MOCQUOT Mme N. PRADELLE PLASSE Mme M. ZANINI

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MAÎTRES DE CONFÉRENCES
3. RÉHABILITATION ORALE (SUITE)	PROTHÈSES	Mme M.-V. BERTERETCHE Mme A. BRAUD M. O. FROMENTIN M. C. RIGNON-BRET M. B. TAVERNIER Mme C. WULFMAN	M. J.-M. CHEYLAN M. M. DAAS M. D. DOT Mme L. FRIEDLANDER M. L. DUPAGNE (MCU associé) M. N. EID M. S. ESCURE Mme I. FOUILLOUX M. P. GATEAU M. D. MAURICE M. P. MOULIN M. P. RENAULT Mme É. SARFATI M. J.-E. SOFFER M. P. TRAMBA
	FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX	Mme S. DOUBLIER (PR associée) Mme L. JORDAN M. J.-F. NGUYEN M. B. SALMON	M. J.-P. ATTAL M. C. AZEVEDO Mme R. BENBELAÏD Mme A. BENOÎT A LA GUILLAUME (MCF) Mme J. BOSCO M. D. BOUTER M. J.-L. CHARRIER M. M. CHERRUAU M. R. FELIZARDO M. B. FLEITER Mme H. FRON CHABOUIS Mme F. MANGIONE M. A. PORPORATI (MCU associé) Mme F. TILOTTA
PROFESSEURS ÉMÉRITES		M. C. BÉRENHOLC M. A. LAUTROU M. P. BOUCHARD Mme M.-L. BOY-LEFÈVRE Mme M. FOLLIGUET M. J.-L. SAFFAR	M. R. GARCIA M. G. LEVY M. B. PELLAT Mme A. POLIARD Mme M. WOLIKOW
Liste mise à jour le 01 septembre 2021			

Remerciements

À M. le Professeur Philippe Pirnay ; Docteur en Chirurgie Dentaire ; Spécialiste qualifié en Médecine Bucco-Dentaire ; Docteur de l'Université Paris-Descartes ; Habilité à Diriger des Recherches, Professeur des Universités, UFR d'Odontologie – Université de Paris ; Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris ; Chef de service de l'hôpital Henri-Mondor, Officier de l'ordre des palmes académiques ; Lauréat de l'Académie Nationale de Chirurgie dentaire ; Lauréat de l'Académie Nationale de Médecine ; Lauréat de l'Académie Nationale de Chirurgie

Qui me fait l'honneur de présider le jury de cette thèse d'exercice. Merci pour votre soutien tout au long de mes années de formation, pour l'oreille toujours attentive que vous m'avez prêtée ainsi que votre présence durant mes cinq années d'études. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde et respectueuse reconnaissance.

À M. le Docteur Jean-Pierre Attal ; Docteur en Chirurgie dentaire ; Docteur de l'Université Paris Descartes ; Habilité à Diriger des Recherches ; Maître de Conférences des Universités, UFR d'Odontologie – Université de Paris ; Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de siéger à mon jury de thèse. Merci pour votre soutien et vos précieux conseils tout au long de ma formation. Pour la gentillesse et la patience dont vous avez fait preuve envers moi. Veuillez recevoir ici l'expression de tout mon respect et de mon estime.

À Mme le Docteur Francesca Mangione ; Docteur en Chirurgie dentaire ; Spécialiste qualifiée en Chirurgie orale ; Ancien Interne des hôpitaux ; Docteur de l'Université Sorbonne Paris Cité ; Maître de Conférences des Universités, UFR d'Odontologie – Université de Paris ; Paris Descartes, Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Pour m'avoir fait l'honneur de participer au jury de ma thèse. Je vous remercie pour votre gentillesse ainsi que pour la pédagogie dont vous avez fait preuve dès le début de ma formation hospitalière. Veuillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

À M. le Docteur Paul Laccourreye ; Docteur en Chirurgie dentaire, Assistant Hospitalo-Universitaire, UFR d'Odontologie – Université de Paris

Qui me fait l'honneur de diriger cette thèse d'exercice. Merci pour votre gentillesse, votre disponibilité, votre patience et surtout votre soutien tout au long de mes études. Merci d'avoir été si disponible et à l'écoute durant ce travail de recherche. Merci pour vos nombreux conseils durant ces années à l'hôpital. Merci de m'avoir permis de présenter ce jour ma soutenance de Docteur en chirurgie-dentaire. Veuillez trouver ici l'expression de mon plus grand respect.

À M. le Docteur Farid Ghoul ; Docteur en Chirurgie dentaire, Assistant Hospitalo-Universitaire, UFR d'Odontologie – Université de Paris

Qui me fait le plaisir de juger ce travail. Je suis extrêmement reconnaissante pour toute l'aide que vous m'avez apporté durant ces années. Votre savoir infailible dans tous les domaines force mon respect et mon admiration. Vos qualités d'enseignant m'ont donné confiance, de mes premiers pas à l'hôpital jusqu'à aujourd'hui en cabinet, en passant par les ECOS ou le CSCT. Merci de m'avoir accueillie à plusieurs reprises dans votre cabinet, et de m'avoir sortie de situations complexes avec tant de facilité. Merci d'avoir toujours cru en moi, de m'avoir soutenue, poussée et aidée dans la réalisation de ce travail. Veuillez trouver ici l'expression de mon profond respect et ma plus grande gratitude.

Résumé et indexation en français et anglais

Résumé :

Face à un édentement unitaire antérieur, la réhabilitation esthétique est la demande principale des patients. Mais la réussite esthétique dépend à la fois de la restauration prothétique et de l'aménagement des tissus environnants. Dans cette situation, il existe de nombreuses options thérapeutiques. C'est celle de la prothèse implanto-portée qui retiendra mon attention. En effet, le recours aux traitements implanto-portés est devenu courant en omnipratique. L'implantologie moderne a cependant bien évolué et nous offre aujourd'hui la possibilité d'utiliser des outils numériques très performants qui nous permettent d'obtenir des résultats prédictibles et reproductibles tant sur l'aspect diagnostic que thérapeutique. Cette chaîne numérique constituée d'une série d'appareils, de machines et de logiciels, à la fois dans les cabinets et les laboratoires de prothèse, prend tout son sens dans le monde d'aujourd'hui, face à des patients de plus en plus exigeants et désireux d'innovation technologique en santé. Nous verrons leurs utilités au cours des différentes étapes de prise de décision et de planification implantaire et prothétique. Nous étudierons leur intérêt pour guider notre chirurgie implantaire et sécuriser la précision lors du geste chirurgical. Enfin, nous mettrons en avant l'aide précieuse que ces outils digitaux peuvent apporter durant toutes les étapes de conception de la prothèse transitoire. La chirurgie implantaire guidée est désormais considérée comme un gold standard pour réduire les échecs des traitements de mise en charge et esthétique immédiate rencontrés en chirurgie conventionnelle et repousser les limites de l'implantologie orale.

Discipline ou spécialité :

Implantologie

Mots clés français (fMeSH et Rameau) :

fMeSH : Conception assistée par ordinateur ; Prothèse dentaire implanto-portée

Rameau : CFAO, Systèmes de ; Matériaux dentaires

Forme ou Genre :

fMeSH : Dissertation universitaire

Rameau : Thèses et écrits académiques

Abstract :

In front of a previous unitary edentulousness, aesthetic rehabilitation is the main request of patients. But aesthetic success relies on both the prosthetic restoration and the development of the surrounding tissue. In this situation, there are many treatment options. It is that of the implant-supported prosthesis that will hold my attention. Indeed, recourse to implant-borne treatments has become common in general practice. Modern implantology, however, has evolved a lot and today offers us the possibility of using high-performance digital tools that allow us to obtain predictable and reproducible results both on the diagnostic and therapeutic aspects. This digital chain made up of a series of devices, machines and software, both in practices and prosthetic laboratories, takes on its full meaning in today's world, in front of patients more demanding and eager for technological innovation in health. We will see their uses during the various stages of decision-making and implant and prosthetic planning. We will study their interest in guiding our implant surgery and securing precision during the surgical procedure. Finally, we will highlight the invaluable help these digital tools can provide during all stages of the design of the transient prosthesis. Guided implant surgery is now considered a gold standard for reducing the failures of immediate weight-bearing and aesthetic treatments encountered in conventional surgery and pushing the boundaries of oral implantology.

Branches or specialty :

Oral Implantology

English keywords (MeSH) :

Computer-Aided Design ; Dental Prosthesis, Implant-Supported

Publication type (MeSH) :

Academic Dissertation

Liste des abréviations

- 2D : Deux Dimensions
- 3D : Trois Dimensions
- ASA : American Society of Anesthesiologists
- CAO : Conception Assistée par Ordinateur
- CBCT : Cone Beam Computed Tomography
- CFAO : Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur
- COS : Chairside Oral Scanner
- DICOM : Digital Imaging and Communications in Medicine
- EII : Extraction Implantation Immédiate
- FAO : Fabrication Assistée par Ordinateur
- IAO : Implantologie Assistée par Ordinateur
- mm : Millimètre
- nm : Nanomètre
- OIM : Occlusion d'Intercuspidie Maximale
- PMMA : Polyméthacrylate de Méthyle
- PNN : Polynucléaires neutrophiles
- PES : Pink Esthetic Score
- SLA : Stéréolithographie
- SLS : Selective Laser Sintering
- STL : Standard Triangulation Language
- VIH : Virus de l'immunodéficience humaine

Table des matières

INTRODUCTION	3
1. PRISE DE DECISION LORS DE LA PREMIERE CONSULTATION IMPLANTAIRE.....	4
1.1 LES PREREQUIS DE L'IMPLANTOLOGIE DANS LE SECTEUR ANTERIEUR	4
1.1.1 <i>L'analyse pré-implantaire</i>	4
1.1.2 <i>Critère de position idéale d'un implant antérieur.....</i>	7
1.1.3 <i>L'extraction implantation immédiate.....</i>	11
1.2 LE DEFI ESTHETIQUE DE L'EDENTEMENT UNITAIRE ANTERIEUR	12
1.2.1 <i>Examen de face au repos.....</i>	12
1.2.2 <i>Examen de profil au repos</i>	13
1.2.3 <i>Examen de face lors du sourire</i>	14
1.2.4 <i>Esthétique du sourire – critères fondamentaux proposée par Magne</i>	15
1.3 LA CONSULTATION IMPLANTAIRE	17
1.3.1 <i>Acquisition volumique par CBCT.....</i>	17
1.3.2 <i>Acquisition de la situation initiale par empreinte optique</i>	19
1.3.3 <i>Wax-up numérique.....</i>	22
1.3.4 <i>Fusion des données STL et DICOM.....</i>	24
2. LE NUMERIQUE AU CŒUR DE LA CHIRURGIE.....	27
2.1 LA PLANIFICATION NUMERIQUE	27
2.1.1 <i>Planification implantaire guidée par l'anatomie de la future restauration</i>	27
2.1.2 <i>Modélisation et caractéristiques d'un guide chirurgical.....</i>	31
2.1.3 <i>Fabrication du guide chirurgical.....</i>	35
2.1.4 <i>Divergences inhérentes à la précision de fabrication du guide chirurgical</i>	36
2.2 LA CHIRURGIE IMPLANTAIRE GUIDEE	36
2.2.1 <i>Déroulé de l'intervention</i>	36
2.2.2 <i>Avantages de la chirurgie guidée</i>	39
2.2.3 <i>Difficultés et limites de la technique.....</i>	41
2.2.4 <i>Étude de la précision du numérique</i>	44
2.3 LA PROTHESE PROVISOIRE	47
2.3.1 <i>Fabrication pré-chirurgicale.....</i>	48
2.3.2 <i>Usinage pré-opératoire et ajustement per-opératoire</i>	49
2.3.3 <i>Empreinte optique per-opératoire.....</i>	51

3. APPLICATION DU FLUX NUMERIQUE POUR UNE MISE EN ESTHETIQUE IMMEDIATE EN	
IMPLANTOLOGIE	53
3.1 ANAMNESE	53
3.2 ANALYSE DE LA SITUATION CLINIQUE ET CHOIX THERAPEUTIQUE	54
3.2.1 <i>Données cliniques :</i>	54
3.2.2 <i>Données radiographiques</i>	55
3.2.3 <i>Diagnostic et options thérapeutiques</i>	55
3.3 THERAPEUTIQUE PARODONTALE INITIALE	56
3.4 BILAN PRE-IMPLANTAIRE	56
3.5 PLANIFICATION IMPLANTAIRE NUMERIQUE	57
3.6 LE TEMPS PAR TEMPS CHIRURGICAL	60
3.6.1 <i>L'extraction</i>	60
3.6.2 <i>La mise en place de l'implant</i>	61
3.6.3 <i>Le comblement alvéolaire</i>	62
3.6.4 <i>La greffe de conjonctif enfoui</i>	63
3.6.5 <i>Mise en esthétique immédiate</i>	64
3.7 CONTROLE POST-OPERATOIRE.....	69
3.8 CONTROLE DE L'OSTEOINTEGRATION A 4 MOIS	69
3.9 DISCUSSION	69
CONCLUSION	73
BIBLIOGRAPHIE.....	74
TABLE DES FIGURES	79
TABLE DES TABLEAUX	82

Introduction

La réhabilitation implantaire unitaire dans le secteur antérieur constitue un véritable défi chirurgical et prothétique. L'intégration esthétique de la future restauration représente un enjeu pour le chirurgien-dentiste car elle doit répondre aux critères d'exigences et pérenniser les volumes existants. La mise en esthétique immédiate apparaît comme une solution de choix pour compenser l'édentement mais reste une situation anxiogène pour le patient qui n'a pas de visibilité sur le projet esthétique final. De plus, le parfait positionnement de l'implant dans le volume osseux disponible constitue un prérequis indispensable afin d'obtenir un résultat esthétique. Le numérique prend alors tout son sens. L'intégration de la planification implantaire dans la chaîne interopérable de la CFAO crée une approche plus rassurante pour le patient et plus confortable pour le praticien. Le concept de l'implantologie assistée par ordinateur (IAO) permet d'obtenir un schéma reproductible ainsi que des résultats prédictibles tant sur l'aspect diagnostic que thérapeutique.

L'objectif de cette thèse d'exercice est de détailler toutes les étapes de planification chirurgicale, de la mise en place d'un implant et de la réalisation d'une couronne implanto-portée immédiate grâce aux outils numériques. Autrement dit, de donner des paramètres cliniques chronologiques afin de proposer un protocole reproductible permettant de sécuriser le geste chirurgical et d'optimiser les résultats esthétiques des prothèses implanto-portées antérieures immédiates.

La première partie expose les prérequis de l'implantologie dans le secteur antérieur ainsi que le déroulé d'une consultation implantaire et d'une conception de projet prothétique de façon entièrement numérisée à partir d'une empreinte optique et d'un CBCT.

La seconde partie décrit d'une part une planification numérique type, c'est-à-dire la superposition des données d'imagerie et du projet prothétique pour anticiper le positionnement de l'implant en fonction des impératifs esthétiques, biologiques et mécaniques. D'autre part, le déroulé chronologique d'une chirurgie implantaire guidée sera expliqué. Enfin, trois protocoles de temporisation par CFAO seront détaillés afin d'aboutir, dans le même temps que la chirurgie, à une restauration provisoire.

La troisième partie est consacrée à la présentation détaillée d'un protocole clinique reproductible d'extraction-implantation et mise en esthétique immédiate d'une dent 11 où le numérique est au centre de la réflexion et de la réalisation chirurgicale et prothétique.

1. Prise de décision lors de la première consultation implantaire

1.1 Les prérequis de l'implantologie dans le secteur antérieur

1.1.1 L'analyse pré-implantaire

1.1.1.1 L'étude pré-implantaire

L'étude pré-implantaire correspond à la première rencontre avec le patient. Nous allons pouvoir déterminer l'éligibilité du patient au traitement implantaire et élaborer avec lui un plan de traitement prothétique. Cette première consultation est essentiellement basée sur l'écoute. Nous devons être capables de lister les doléances du patient, de définir ses besoins, ses exigences esthétiques et ses attentes en matière de confort.

Lors de la consultation, il est fréquent que le patient se présente avec un édentement unitaire souvent compensé par une prothèse amovible, un bridge collé ou même une gouttière. Il est nécessaire de comprendre l'origine de l'édentement (agénésie, absence d'éruption, avulsion spontanée sur terrain parodontal, traumatisme...). Mais dans la plupart des cas, les dents sont présentes en bouche mais compromises (résorption radiculaire, fissures, fracture radiculaire, lésion endodontique, ...). Dans ce cas, et sous certaines conditions, une extraction-implantation immédiate peut être indiquée. Le chirurgien-dentiste doit alors connaître les antécédents de cette dent et réaliser un examen clinique rigoureux pour optimiser la prise en charge thérapeutique.

Après avoir pris connaissance de l'historique dentaire du patient, nous pouvons évaluer l'hygiène et la motivation qui sont deux facteurs clés de la réussite du traitement. Avant de débiter le traitement, nous devons systématiquement proposer un enseignement à l'hygiène oral ainsi qu'un contrôle de plaque minutieux afin de maximiser les chances de maintenir une flore propice à la conservation de l'ostéo-intégration (1). Notre rôle en tant que chirurgien-dentiste est d'informer et d'éclairer le patient sur les propositions thérapeutiques existantes ainsi que sur les risques et les échecs liés à l'intervention. Durant l'entretien, il est indispensable d'obtenir le consentement éclairé signé ainsi que le devis accepté pour débiter les soins dans une relation de confiance.

1.1.1.2 Le bilan médical

L'entretien se poursuit par un bilan médical qui permet d'éliminer toute contre-indication inhérente à l'implantologie.

Nous considérons comme contre-indications absolues à la pose d'implant toute pathologie pouvant induire un risque vital ou tout état de santé qui peut être responsable d'un échec systématique de l'acte implantaire, c'est-à-dire d'une non-intégration osseuse de l'implant (2). Nous retrouvons :

- Un patient ASA 4 (patient avec une anomalie systémique sévère représentant une menace vitale constante) sur l'échelle du système de classification de l'état physique ASA (American Society of Anesthesiologists) (3)
- Pathologie cardiovasculaire à haut risque d'endocardite infectieuse
- Patient à risque hémorragique : hémopathies non contrôlées avec anémie, neutropénie < 1000 PNN/mm³, thrombopénie < 5000 pla/mm³, VIH avec CD4 < 200/mm³
- Patients immunodéprimés sévères : insuffisance rénale ou hépatique, traitements immunosuppresseurs ou chimiothérapie aplasante, ...
- Patients sous traitement par bisphosphonates principalement sous forme injectable
- Chez l'enfant ou l'adolescent où la croissance verticale des maxillaires n'est pas aboutie (4)

Nous considérons comme contre-indication relative toute pathologie qui autorise la pose d'implant uniquement après sa stabilisation et son traitement par la thérapeutique adéquate. L'intervention sera alors différée et l'indication implantaire réévaluée (5).

- Facteurs généraux (diabète non équilibré, ostéoporose, grossesse, pathologies cardiovasculaires à risque moyen ou faible d'endocardite infectieuse)
- Facteurs médicamenteux (bisphosphonates, chimiothérapie, radiothérapie)
- Facteurs psychologiques (tabac, alcoolisme, ...)
- Contre-indications loco-régionales (maladie parodontale, bruxisme, ...)

1.1.1.3 Anamnèse médicale et examen clinique

L'entretien sera suivi par un examen complet de la face.

L'examen exobuccal permet d'appréhender l'ouverture buccale, la symétrie du visage, d'évaluer l'équilibre des étages de la face. Il sera suivi d'un examen de l'articulation temporo-mandibulaire (ATM). Dans le cas d'une réhabilitation implantaire du secteur antérieur, il est important de prendre

le temps d'analyser la ligne du sourire et de faire un examen esthétique qui sera développé dans la partie 1.2.

L'examen endobuccal permet une inspection des arcades et des muqueuses, une évaluation de l'occlusion et de l'espace inter-arcade disponible. Il comporte quatre points fondamentaux.

1.1.1.3.1 Un bilan parodontal

- Observation des tissus de soutien, de l'inflammation gingivale, de la perte d'attache, de l'alvéolyse, du tissu kératinisé présent, de l'indice de plaque et de saignement
- Mesure de la profondeur de poche et des récessions
- Objectivation de la mobilité de la dent

1.1.1.3.2 Une analyse occlusale statique et dynamique

- Objectivation des mouvements de propulsion et de diduction
- Analyse de l'occlusion d'intercuspidie maximal (OIM), l'occlusion de relation centrée (ORC), le recouvrement et la désocclusion en propulsion
- Observation des facettes d'usure, des parafunctions, du bruxisme et des pertes de dimension verticale (DV)

1.1.1.3.3 Un examen prothétique

- Objectivation l'espace prothétique résiduel, de la perturbation des courbes occlusales
- Détection d'un problème de phonation

1.1.1.3.4 Évaluation esthétique

- Analyse de la ligne du sourire, la forme des arcades et le soutien des lèvres
- Objectivation de la qualité et la quantité des tissus mous
- Prise en compte de la ligne des collets des dents adjacentes et le rapport avec les dents antagonistes

L'examen clinique se poursuit par un examen radiologique qui nous permet d'apprécier le niveau osseux. Nous débutons par la radiographie panoramique, qui permet de déceler d'éventuelles pathologies dentaires et osseuses, puis par la radiographie rétro-alvéolaire qui permet d'évaluer la

hauteur osseuse disponible. Le bilan radiologique sera complété par la réalisation d'un CBCT dont l'intérêt est développé dans la partie 1.3.1.

1.1.2 Critère de position idéale d'un implant antérieur

En secteur antérieur, le positionnement tridimensionnel de l'implant est un élément clef de l'intégration bio-esthétique. Un mauvais positionnement peut engendrer un trouble de la forme de la future restauration prothétique, de l'émergence, de l'angulation du col implantaire et même une modification de l'architecture de la muqueuse péri-implantaire, du feston cervical et des papilles inter dentaires. Pour respecter l'axe idéal, nous utilisons la chirurgie guidée régie par des règles précieuses qui dépendent à la fois de la densité osseuse de la zone édenté, des tissus mous environnants, des dents adjacentes et des antagonistes.

L'implantologie moderne n'est maintenant plus guidée par les impératifs anatomiques mais bien par les exigences prothétiques et les impératifs biologiques. Dans le secteur antérieur, la priorité des patients est principalement de retrouver une esthétique harmonieuse du sourire. Nous devons donc réaligner les collets, s'assurer de la présence des papilles inter dentaires, d'un profil d'émergence idéal et d'un col implantaire non visible même lors d'un sourire forcé.

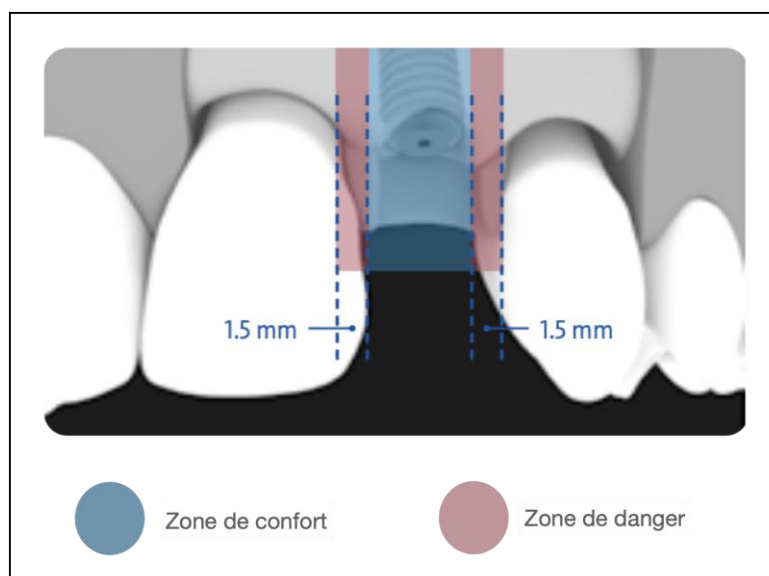
Nous pouvons avoir recours à des régénérations osseuses guidées (ROG) ainsi qu'à des greffes de tissus mous pour respecter ces critères esthétiques. Ce sont donc les critères prothétiques qui guident la chirurgie. (6).

1.1.2.1 Positionnement mésio-distal ou horizontal

Dans le secteur antérieur, la position idéale de l'implant est parallèle et à égale distance des dents adjacentes. Dans les conditions optimales, le positionnement mésio-distal de l'implant doit inclure la largeur du desmodonte (environ 0.25 mm) et 1 mm de marge entre l'implant et le ligament de la dent adjacente. Il doit donc se situer à 1,5 mm de la surface radiculaire des dents qui l'entoure. C'est la zone de confort dans laquelle l'implant doit être posé.

Si l'implant est trop proche d'une papille inter dentaire, il peut induire une compression de cette dernière qui peut s'avérer inesthétique et compliquer l'hygiène locale, notamment dans les cas d'extraction-implantation immédiate. Un mauvais placement mésio-distal peut aussi affecter le parodonte des dents adjacentes au site implantaire. Cela peut entraîner une diminution de la vascularisation ainsi que des résorptions radiculaires externes. C'est la zone de danger. Si cette distance n'est pas respectée, nous risquons une résorption de l'os interproximal (7).

Figure 1 : Modélisation de la position correcte de l'implant dans le plan mésio-distale



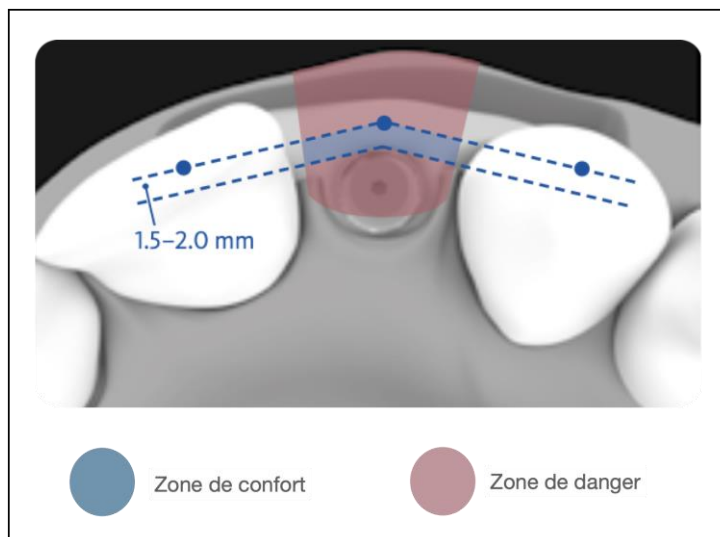
Source : Geistlich Biomaterials, « Augmentation osseuse mineure », 2020.

1.1.2.2 Positionnement vestibulo-palatin ou sagittal

Pour obtenir le profil d'émergence le plus harmonieux, il faut préserver au maximum la corticale osseuse vestibulaire. L'idéal est de préserver une épaisseur de 2 mm en vestibulaire (avec une tolérance de 1 mm maximum) et conserver environ 1 mm en palatin de l'implant. Dans le secteur antérieur, nous observons que les dents naturelles sont très vestibulées sur la crête osseuse. Lors de l'extraction-implantation immédiate, il est important de ne pas positionner l'implant dans le site extractionnel au risque de compromettre l'ostéo-intégration et l'esthétique. Dans le cas d'une prothèse transvissée, nous aurons tendance à situer la tête de l'implant légèrement en arrière de la ligne qui passe par les collets et qui relie les faces vestibulaires des dents adjacentes, c'est-à-dire à 1 mm en palatin pour obtenir l'émergence de la vis au niveau du cingulum de la future prothèse (cf. figure 2).

Une position trop vestibulaire endommagerait la corticale et provoquera des récessions gingivales. À l'inverse, une position trop palatine de l'implant donnera des restaurations prothétiques en sur contour qui pourra occasionner des fractures, des troubles occlusaux ou d'hygiène (8).

Figure 2 : Modélisation de la position correcte de l'implant dans le plan vestibulo-palatin

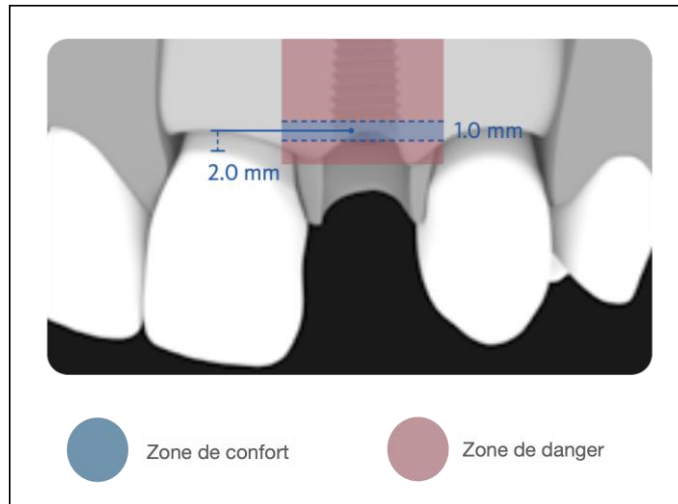


Source : Geistlich Biomaterials, « Augmentation osseuse mineure », 2020.

1.1.2.3 Positionnement corono-apical ou vertical

Le degré d'enfouissement de l'implant va permettre de définir la hauteur d'exposition de la restauration finale afin de donner l'illusion que la prothèse émerge naturellement au travers de la gencive marginale. La hauteur de la couronne clinique, le profil d'émergence, la position du zénith gingival et l'alignement des collets vont être autant de critères qui dépendent de la position apico-incisale de l'implant. La position idéale de l'implant doit se situer entre 1 et 3 mm de la jonction émail-cément des dents controlatérales. D'après le consensus de l'ITI (International Team for Implantology), il est préférable de prendre comme référence d'enfouissement vertical l'alignement des collets des dents bordant l'édentement car la jonction émail-cément des incisives latérales est souvent plus haute que les incisives centrales ou les canines. Il faut donc positionner la tête de l'implant 2 mm plus coronairement par rapport à la future prothèse. Plus le diamètre de l'implant est faible, plus l'enfouissement est important de façon à gérer le profil d'émergence. À l'inverse, un diamètre large permet de réduire l'enfouissement et de diminuer le risque de fausses poches (9). Mais il faudra cependant veiller à ce que la tête de l'implant ne soit pas visible à travers la muqueuse, car il sera impossible de compenser le profil d'émergence. De même, si l'implant est positionné trop apicalement, il est malheureusement difficile d'objectiver une résorption osseuse puis muqueuse (6,10).

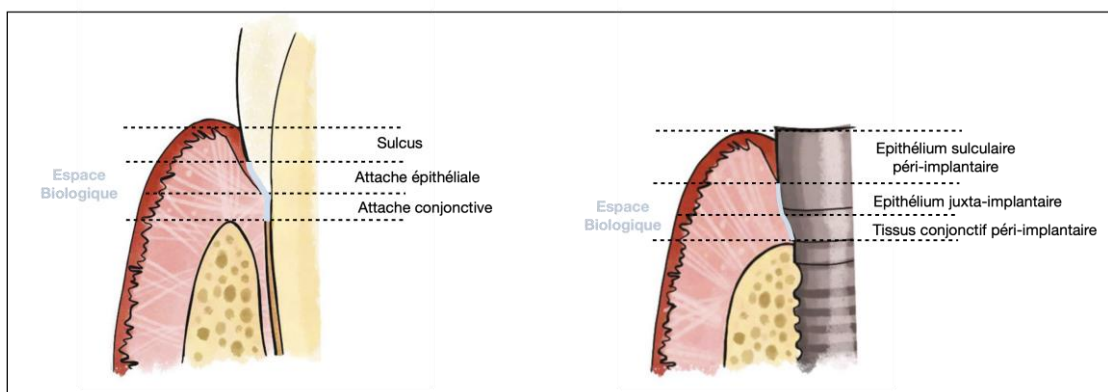
Figure 3 : Modélisation de la position correcte de l'implant dans le plan corono-apical



Source : Geistlich Biomaterials, « Augmentation osseuse mineure », 2020.

L'enfouissement corono-apical de l'implant doit permettre de préserver l'espace biologique de 3 mm. D'après l'étude Cochran et coll. (11), la hauteur moyenne de l'espace biologique de l'implant est de 3,08 mm (1,88 mm pour l'attache épithéliale et 1,05 mm pour le tissu conjonctif) comparée à environ 2,04 mm pour une dent naturelle. L'attache épithéliale est donc plus longue que sur une dent naturelle. Ce sont les tissus mous de l'espace biologique qui assurent le rôle de barrière, protégeant l'os alvéolaire et assurant la stabilité du support osseux péri-implantaire.

Figure 4 : Comparaison des tissus péri-dentaires et péri-implantaires (Palacci)



Source : Auteur d'après Gaultier et Gogly, La muqueuse péri-implantaire in Bouchard *Parodontologie et dentisterie implantaire*, 2015.

1.1.3 L'extraction implantation immédiate

Branemark a décrit des dogmes de cicatrisation post implantaire dans les années 1960, mais l'évolution des connaissances scientifiques et les exigences des patients nous ont poussé à diminuer le temps de traitement global et surtout le nombre d'interventions chirurgicales par rapport au protocole conventionnel. L'extraction-implantation immédiate est définie comme la mise en place d'un implant endo-osseux dans une alvéole extractionnelle au cours du même acte opératoire. La technique d'extraction-implantation immédiate est souvent employée dans le secteur antérieur. En effet, elle présente des avantages physiologiques mais aussi psychologiques. Cette technique a été reconnue pour réduire les manipulations sur les tissus mous et limiter au maximum la résorption des tissus durs. En effet, l'os alvéolaire subit une fonte osseuse post-extractionnelle. Cette perte osseuse est chronique, progressive, cumulative, et d'origine multifactorielle. Elle aboutit à un volume osseux diminué tant au niveau vertical qu'horizontal, aux dépens de la corticale vestibulaire (12). Cette résorption osseuse est inévitable et ne peut être qu'être atténuée (13). Les auteurs s'accordent sur le fait que la résorption des tissus durs est irréversible et plus importante au cours des 6 premiers mois avec une perte de hauteur de 40 % et d'épaisseur de 60 % de l'alvéole (14). Cette fonte osseuse est d'ailleurs d'autant plus importante lorsque l'alvéole présente un foyer infectieux ou une paroi osseuse absente. Schartz-Arad D. a confirmé en 2012 que la technique d'EII permettait de limiter la résorption post-extractionnelle. En effet, cela permettait à l'os alvéolaire de rester stimulé mécaniquement. Il a également fait remarquer que pour optimiser ce phénomène, il fallait souvent accompagner l'implantation immédiate de matériaux de comblements osseux et/ou de membranes.

Cette technique demande à réunir des conditions anatomiques indispensables pour garantir le succès thérapeutique. En 2017, dans une revue rédigée par Buser et al, les pré-requis à l'extraction-implantation immédiate ont été établis :

Il est nécessaire d'avoir :

- Une paroi vestibulaire entièrement intacte au niveau du site extractionnel avec au minimum 1 mm d'épaisseur
- Un biotype gingival épais
- Une absence d'infection active au site d'extraction
- Un volume osseux suffisant en apical et en palatin afin d'obtenir une stabilité primaire suffisante à la mise en charge immédiate

Cette technique offre une perspective intéressante dans le monde de l'implantologie à la fois pour le patient mais aussi pour le praticien (15). Ce protocole apporte une réduction du temps total de traitement en réduisant le nombre d'interventions chirurgicales. En effet, le fait d'extraire la dent

apporte une vascularisation importante ce qui optimise la cicatrisation. Le chirurgien ne doit plus que calibrer la zone apicale pour placer l'implant ce qui rend le protocole chirurgical moins traumatisant pour les tissus. À contrario, lors d'un traitement conventionnel, le forage au sein de la corticale osseuse entraîne un dégagement de chaleur important et rend la chirurgie plus traumatique (16). De plus, l'avantage pour le patient est indéniable. L'impact psychologique associé à la perte dentaire est largement diminué par la mise en esthétique immédiate.

Enfin, la littérature rapporte un taux de succès comparable à l'implantation conventionnelle avec des résultats tout aussi prédictibles. (17)

1.2 Le défi esthétique de l'édentement unitaire antérieur

L'édentement unitaire antérieur est une situation relativement fréquente qui crée un déséquilibre du sourire. La demande de réhabilitation est donc le plus souvent esthétique. Notre réponse thérapeutique doit être le résultat d'une restauration à la fois fonctionnelle, esthétique et pérenne. La dentisterie esthétique est définie comme "la science de copier la nature et d'intégrer nos soins dans le contexte buccal, les rendant invisibles autant que possible."

En matière esthétique, il y a deux objectifs : créer des dents avec des proportions harmonieuses les unes par rapport aux autres et créer une relation équilibrée entre les dents, la gencive et le visage. Néanmoins, le sourire dépend à la fois de critères objectifs qui répondent à des normes bien définies, mais aussi à des critères subjectifs qui sont intrinsèques à chacun, et que le dentiste ne peut appréhender qu'en s'entretenant avec le patient pour anticiper et comprendre sa demande esthétique. Nous nous pencherons uniquement sur les critères objectifs.

La zone esthétique est définie comme toute partie de l'arcade visible lors d'un sourire large du patient. C'est donc le segment dento-alvéolaire visible lors du sourire (18). Il va de soi que ce segment doit être en harmonie avec la face. C'est pourquoi, avant de débiter tout traitement implantaire en antérieur, le chirurgien-dentiste doit prévoir l'analyse précise de la face au repos, un examen de profil au repos, ainsi qu'un examen de face lors du sourire.

1.2.1 Examen de face au repos

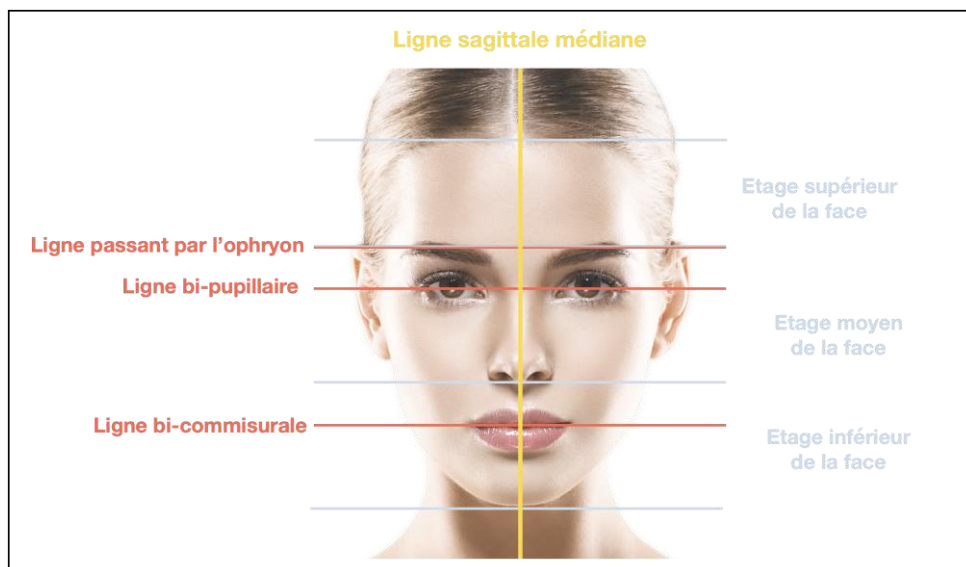
Lors de l'examen de face, il est important d'observer les lignes du visage. Parmi elle, nous comptons la ligne bi pupillaire qui représente la référence esthétique horizontale du visage (19). Elle passe par les deux pupilles de l'œil. Pour obtenir l'harmonie dans le sourire, il faudrait dans l'idéal que cette ligne bi pupillaire soit parallèle avec la ligne des collets des incisives centrales, ainsi qu'avec le plan d'occlusion et le plan incisif.

D'autres lignes horizontales peuvent être utilisées, comme la ligne passant par l'ophryon (point inter-sourcilière), la ligne passant par les ailes du nez et la ligne passant par les commissures labiales (ligne bi-commissurale). Il est important de vérifier le parallélisme entre les lignes bi pupillaire et bi-commissurales dans le plan frontal afin d'apprécier les projections relatives des différents étages du massif facial dans le plan sagittal. De plus, le clinicien notera la forme générale du visage et analysera la symétrie de ses téguments (nez, oreilles, lèvres, pommettes, menton...).

La ligne sagittale médiane doit être considérée comme la référence verticale (20). Elle passe par l'arête du nez et le philtron et est perpendiculaire aux lignes horizontales.

L'absence de coïncidence entre la ligne verticale squelettique et la ligne médiane de la face donne au clinicien une perspective sur les divergences entre le milieu dentaire et la ligne médiane de la face. Nous avons donc une indication sur les changements de la position du point inter-incisif nécessaire pour obtenir un résultat esthétique du sourire. En outre, il peut fournir un repère visuel quant au degré de l'inclinaison axiale des dents.

Figure 5 : Lignes de référence horizontales et verticales de la face



Source : Auteur, 2021.

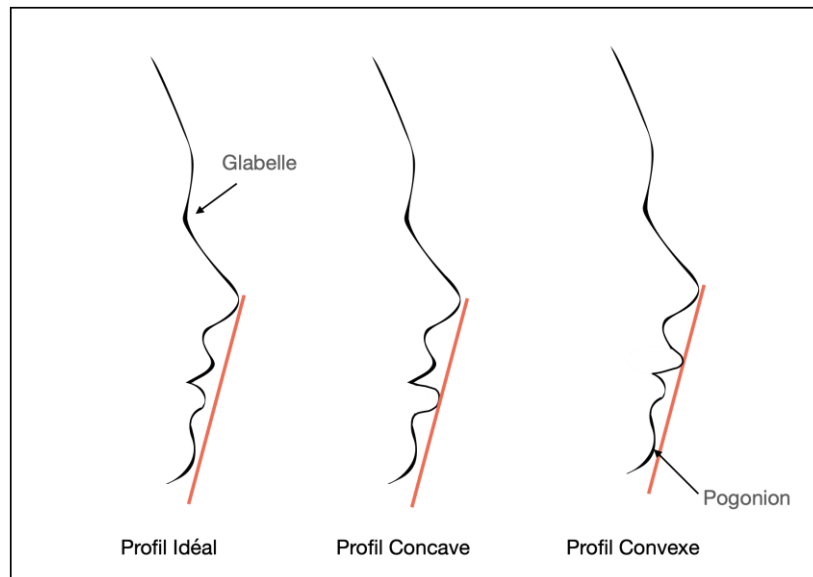
1.2.2 Examen de profil au repos

L'analyse du visage de profil au repos permet de déterminer les rapports squelettiques inter-maxillaires. Le dentiste va chercher à évaluer le profil dans sa globalité et déterminer si le patient est concave, convexe ou plat en imaginant une ligne passant par la glabella, la pointe du nez et le pogonion. Le chirurgien-dentiste va également analyser la position des lèvres par rapport à la ligne esthétique de Ricketts (passant par la pointe du nez et le pogonion) mais aussi par rapport à l'angle

naso-labial. Idéalement, la lèvre supérieure se situe 4 mm en arrière de la ligne de Ricketts et la lèvre inférieure à 2 mm.

Lors de cette étape, le chirurgien-dentiste va pouvoir anticiper si le patient est hypodivergent, normodivergent ou hyperdivergent.

Figure 6 : Analyse du visage de profil au repos



Source : Auteur, 2021.

1.2.3 Examen de face lors du sourire

La ligne du sourire peut être définie par “le tracé d’une ligne imaginaire qui suit le bord inférieur de la lèvre supérieure étirée par le sourire”. Le chirurgien-dentiste doit s'efforcer à analyser le sourire, car il conditionnera les traitements complémentaires à réaliser notamment ceux sur les tissus mous, comme des greffes de gencives pour un édentement antérieur post-extractionnel.

Liébart et collaborateurs ont tenté de donner une classification pour définir le sourire en fonction de la visibilité des dents et du parodonte.

Tableau 1 : Classification de la ligne du sourire par Liébart et collaborateurs

Classe 1 : Ligne du sourire TRÈS haute	• Plus de 2mm de gencive marginale sont visibles ou • Plus de 2mm apicalement à la jonction amélo-cémentaire (JEC) sont visible sur un parodonte réduit, mais sain. → Cela peut être apparenté au SOURIRE GINGIVAL.
Classe 2 : Ligne du sourire haute	De 0 à 2mm de gencive marginale ou apicalement à la JEC sont visibles.
Classe 3 : Ligne du sourire moyenne	Ne présente que les espaces interdentaires remplis ou pas par les papilles.
Classe 4 : Ligne du sourire basse	Le parodonte n'est pas visible.

Source : Dodds et al. « Les références esthétiques : la pertinence du diagnostic au traitement », 2004.

Figure 7 : Photo de la classification de la ligne du sourire par Liébart et collaborateurs



Source : Dr. Antoun, 2021.

1.2.4 Esthétique du sourire – critères fondamentaux proposée par Magne

Le sourire résulte d'une relation étroite entre les dents, le cadre des lèvres et la gencive. Un défaut dans les tissus environnants ne peut pas être compensé par la qualité des prothèses et vice versa. Magne, en actualisant la "check-list" de Besler, rapporte que l'esthétique gingivale est tout aussi importante que l'esthétique dentaire pour qu'un sourire soit harmonieux et équilibré. Magne va proposer 14 critères fondamentaux en les ordonnant par ordre d'influence sur le résultat esthétique.

1. La santé gingivale : la gencive libre doit être rose et mate, la gencive attachée doit être rosée et avoir un aspect peau d'orange. Enfin, la muqueuse alvéolaire doit être rouge foncé et mobile.

2. La fermeture de l'embrasure gingivale : par la présence des papilles inter-dentaires de forme triangulaire entre les dents.
3. Les axes dentaires : inclinés de distal à mésial dans le apico-incisal. L'incisive centrale est à 0 degré puis l'inclinaison s'accroît en vue frontale vers les canines (5/10 degrés).
4. Le zénith du contour gingival : point le plus apical sur la concavité du collet. Il est le plus souvent décalé en distal par rapport à l'axe vertical de la dent.
5. L'équilibre des festons gingivaux : symétrique en particulier pour les incisives centrales qui sont très proches de l'axe de symétrie verticale. Le collet des incisives latérales se trouve légèrement plus coronaire de 1 ou 2 mm que ceux des incisives centrales et des canines.
6. Le niveau des contacts inter-dentaires : le point de contact mésial est toujours plus coronaire que le point de contact distal pour toutes les dents de l'arcade.
7. Les dimensions relatives des dents : auparavant, la dimension idéale mésio-distale était régie par le "nombre d'or" de Lombardie (20) ou par le "pourcentage d'or" de Snow (21). Elle est maintenant suivie par les règles de Sterret et coll. avec des moyennes mesurées au millimètre près. Nous retiendrons qu'un rapport largeur/longueur entre 75 et 80% pour l'incisive centrale est idéal (même si cette proportion est susceptible de varier en fonction du sexe et de l'âge).
8. Les éléments de base de la forme dentaire : les faces mésiales sont plates pour les incisives centrales, les faces distales sont convexes et l'angle disto-incisif est arrondi.
9. La caractérisation de la dent : elle concerne les colorations, tâches, fissures, fêlures, lobes dentinaires, macro et micro-morphologie des surfaces, l'attrition ou encore l'abrasion...
10. Les états de surface : joue sur l'effet optique d'absorption, de réflexion et de transmission de la lumière. Plutôt rugueux chez les jeunes patients, il devient de plus en plus lisse avec l'âge, reflète moins la lumière résultant des dents moins lumineuses.
11. La couleur : élément important de la réussite esthétique, mais pas considéré comme essentiel, car une erreur acceptable n'est pas perçue si la forme et la luminosité sont respectées.
12. La configuration des bords incisifs : chez le jeune, la ligne dessinée par les bords libres des incisives est convexe ou positive. Les bords libres sont fins et délicats, chez un le sujet âgé en revanche, le bord libre est abrasé et plus plat ce qui donnera une ligne concave dite négative.
13. La ligne de la lèvre inférieure : pour avoir un sourire harmonieux à l'œil, il faut que le bord libre des incisives maxillaires affleure le bord supérieur de la lèvre inférieure.
14. La symétrie du sourire : dans le plan vertical, il faut s'assurer que les commissures droites et gauches s'élèvent de manière équivalente et symétrique par rapport à la ligne bipupillaire. Il faut également évaluer la similarité du découvrément des dents et de la gencive.

La liste de vérification de Magne et ses 14 critères peuvent être utilisés comme guide chronologique lors de la décision et la planification thérapeutique. Il ne faut néanmoins pas oublier que de nombreux critères subjectifs sont à prendre en compte et que nous ne sommes pas tous symétriques. C'est pourquoi il est possible de s'écarter légèrement de ces critères sans qu'un sourire devienne dysharmonieux pour autant. Des diversités de formes, de couleur ou d'état de surface peuvent rester plaisants et harmonieux.

1.3 La consultation implantaire

1.3.1 Acquisition volumique par CBCT

De nos jours, de plus en plus de patients sont désireux de remplacer des dents absentes par des implants. De ce fait, le chirurgien-dentiste doit obtenir des mesures anatomiques exactes afin d'éviter tout dommage des structures nobles. L'imagerie est devenue un élément déterminant du bilan pré-implantaire. Le cliché panoramique ainsi que la rétro-alvéolaire nous offrent une imagerie de première intention pertinente mais non suffisante. En effet, la tomographie à faisceau conique ou Cone Beam Computed Tomography (CBCT) est l'examen radiologique tri-dimensionnel situé à l'interface de l'orthopantomogramme (radiographie panoramique) et du scanner (tomodensitométrie). Le CBCT s'est donc avéré être la technique de référence et est devenu un examen complémentaire indispensable pour établir un diagnostic précis et assurer un suivi thérapeutique de qualité.

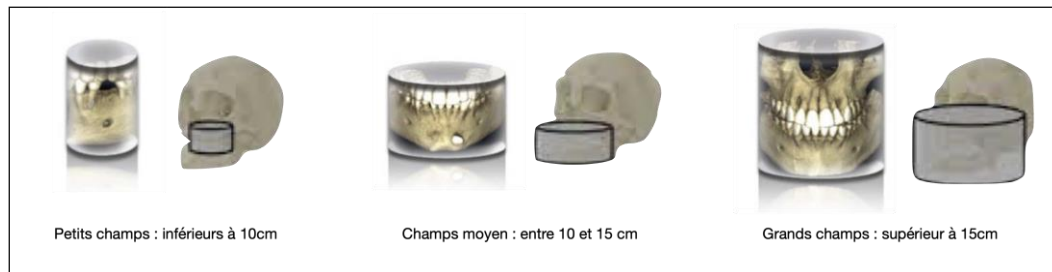
Le CBCT permet l'acquisition numérisée des structures osseuses et la réalisation de coupes dans les trois dimensions. Il renseigne également sur la qualité et la quantité osseuse.

Par rapport au scanner, le CBCT est moins irradiant et est d'usage plus commode en pratique courante. L'acquisition volumique cylindrique projetée par un faisceau conique permet d'éviter les radiations non désirées. Une seule rotation suffit pour obtenir une imagerie de la mâchoire. En comparaison au scanner, le cone beam est environ 4 fois moins irradiant tout en gardant une très bonne qualité d'image car il utilise une technique de "low dose" le rendant moins irradiant et qui répond au concept ALARA ("As Low As Reasonably Achievable"). La résolution pouvant aller jusqu'à 0,075 mm le rend tout aussi précis que le scanner. (22)

Le chirurgien-dentiste a la possibilité de choisir la taille du champ d'exploration (23) qui va directement influencer sur la dose d'irradiation reçue par le patient. Le choix se portera naturellement vers les "cone beam moyen champ" dont les dimensions d'exploration varient de 12 à 15 cm de large et de 7 à 10 cm de hauteur. Ce champ sera limité à la sphère strictement dento-maxillaire ce qui évite les radiations non désirées. Le "petit champ" sera utilisé lorsque nous souhaitons observer entre 1 et 3 dents, pour

une lésion apicale ou dans le cas d'une suspicion de fêlure/fracture. Le "grand champ" sera lui plutôt destiné au radiologue ou à l'ORL qui veulent explorer les sinus ainsi que l'ensemble de la face.

Figure 8 : Les différents champs d'exploration selon Vandenberghe B, Jacobs R, et Bosmans H.



Source : Auteur, 2021.

Le CBCT présente de nombreux avantages en implantologie. Il permet notamment (24) :

- D'estimer le volume osseux dans les trois dimensions de l'espace au niveau du site implantaire
- D'étudier quantitativement et qualitativement l'os par une appréciation de sa densité
- De visualiser les structures nobles en périphérie du site implantaire (nerfs, sinus, racines des dents adjacentes...) par des mesures de distance très précises
- D'évaluer le suivi thérapeutique et d'estimer avec une grande précision le succès des greffes osseuses

Le paradigme a changé depuis l'arrivée du CBCT. Le chirurgien-dentiste ne s'adapte plus au fur et à mesure de l'avancée du soin, mais prévoit, programme et anticipe le soin idéal (25). Cette anticipation dans l'approche du traitement, permet une optimisation significative du résultat. Le cone beam permet en outre, de créer une réelle stratégie opératoire afin de :

- Calculer au mieux le nombre d'implant que le volume osseux permet de poser
- Calculer le diamètre idéal des implants pour respecter la vascularisation péri-implantaire des structures environnantes
- Trouver la longueur et l'orientation optimale des implants en fonction du volume osseux disponible
- Anticiper la hauteur ou l'angulation des piliers

Tous ces paramètres additionnés apportent une optimisation significative pour les traitements implantaires et se reflètent sur l'environnement biologique péri-implantaire sur le long terme.

Cette technique d'imagerie a donc facilité l'exploitation des données anatomiques en 3D. Par ailleurs, cela a permis de développer le concept de chirurgie guidée. Le chirurgien-dentiste exporte les données numériques des coupes natives du CBCT du patient au format DICOM directement dans le logiciel de

planification implantaire (Planmeca®, Simplant®, Nobelguide®, etc....). Le format DICOM, acronyme de “Digital imaging and communication in medicine”, est la référence internationale pour le traitement des fichiers radiologiques. Il permet d’échanger et de lire des données radiologiques de manière universelle.

Or, nous savons que le plan de traitement prothétique doit guider le choix du nombre et du positionnement des implants. Le but est donc de fusionner les données acquises du CBCT avec les données numériques de surfaces issues de l’empreinte optique du patient ou de la numérisation de modèles conventionnels. (26)

1.3.2 Acquisition de la situation initiale par empreinte optique

Les matériaux et les techniques conventionnels en prothèse fixée ont fait leurs preuves depuis longtemps, mais leurs limites sont désormais clairement définies. De nombreuses sources d’erreurs sont possibles notamment lors de la manipulation des matériaux, des étapes de laboratoires ou du transport.

L’empreinte numérique prend donc tout son sens, car elle permet de supprimer de multiples erreurs inhérentes à la méthode traditionnelle (27). Même si elle nécessite de respecter un certain nombre de pré-requis, lorsqu’elle est maîtrisée, elle nous permet de proposer cette technologie à nos patients pour la quasi-totalité de nos options prothétiques.

Le principe de l’empreinte optique a été inventé dans les années 1970 par François DURET et a depuis bien évolué (28). Elle a permis à l’odontologie de rentrer dans l’ère du numérique. Elle se définit comme la projection d’un signal lumineux sous forme d’un point, d’une ligne ou d’une surface sur les surfaces dentaires. Le signal réfléchi sera capté par la caméra permettant de créer le modèle tridimensionnel (3D).

L’empreinte numérique est le 1er des 4 maillons de la chaîne de CFAO dentaire. Le terme CFAO est l’acronyme de Conception et Fabrication Assisté par Ordinateur.

De manière non exhaustive, elle permet :

- Une rapidité de mise en œuvre qui permet de s’affranchir des mélanges, des dosages et du malaxage
- Une précision équivalente, voire supérieure aux matériaux conventionnels de l’ordre du micron en raison de l’absence d’imperfection liée au mélange ou à l’adaptation des matériaux d’empreinte
- Des mesures optiques qui sont actuellement les plus performantes

- Une stabilité temporelle et spatiale des empreintes → L'empreinte est inaltérable, invariable, duplicable (sans usure, ni déformation) facilement enregistrable et transférable.
- Une reprise sans difficulté en cas de retouche → Face à l'absence de contraintes de temps de travail d'un matériau, nous pouvons enregistrer l'arcade en un ou plusieurs segments, qui vont finalement matcher automatiquement. L'échelle d'affichage et le résultat en direct permettent de voir instantanément et avec toujours autant de précision les erreurs d'axes et de proximité occlusale
- Une simplification du mordu d'occlusion → élimination des erreurs de positionnement en relation d'intercuspidie maximale, pouvant être retrouvée lorsqu'un silicone est interposé entre les deux arcades.
- Une économie sur le long terme → pas de matériaux d'empreinte, pas de silicone d'occlusion, pas de porte-empreinte.
- D'apporter une image moderne au cabinet, avec des patients de plus en plus sensibles à la qualité du plateau technique
- De rendre l'empreinte plus confortable pour le patient → pas de réflexe nauséeux ni de panique
- De rendre idéal la communication avec le patient → visualisation des dents en 3 dimensions à fort grossissement.
- De simplifier la manutention en restant écologique : pas de coursier, pas de transport, pas de retard.

Nous pouvons différencier différents types de CFAO. La CFAO directe, semi-directe et indirecte. (29)

1.3.2.1 Empreinte optique intra-buccale - CFAO directe

L'acquisition d'une caméra optique au sein du cabinet du praticien est une condition sine qua non à la CFAO directe. Ceci implique un certain investissement de départ mais permet de réaliser une empreinte optique intra-buccale directement au fauteuil et de s'affranchir des matériaux de l'empreinte conventionnelle.

La procédure de prise d'empreinte se présente comme suit :

1. Aucune préparation préalable n'est nécessaire sur les dents hormis d'isoler le site de la salive et de bien sécher.
2. La caméra se manipule comme un stylo. Elle est introduite dans la bouche du patient et l'utilisateur déplace la caméra en survolant les surfaces à enregistrer. Les images s'affichent en temps réel sur l'ordinateur, en couleurs et en trois dimensions. Les zones sans information

apparaissent sous forme de creux. Le praticien devra replacer la caméra sur un endroit bien enregistré et repasser sur les zones manquantes qui vont se résorber au fur et à mesure sur l'ordinateur (30).

La caméra permet l'acquisition de dizaines d'images par seconde, sans aucune douleur pour le patient.

3. L'enregistrement peut être interrompu et repris à tout moment.
4. En cinq minutes seulement, nous pouvons avoir enregistré les deux arcades et l'occlusion. L'enregistrement des rapports occlusaux se fait par un scannage de la face vestibulaire du secteur intéressé en occlusion d'intercuspidie maximal. Le logiciel met alors les deux arcades en OIM par recalage automatique ou manuellement.
5. Le logiciel de prise d'empreinte génère par la suite un fichier STL (pour STereo-Lithography) ainsi qu'une image 3D du modèle qui s'affiche sur l'écran.

La numérisation en CFAO directe constitue aujourd'hui une véritable alternative à la méthode traditionnelle. En effet, elle apporte de nombreux avantages tant pour le patient que pour le praticien et apparaît donc comme une technique de choix et un investissement rentable dans une caméra optique. Les étapes de conception assistée par ordinateur (CAO) et de fabrication assistée par ordinateur (FAO) peuvent être faites par le praticien au sein du cabinet. C'est la CFAO Directe. À contrario, une fois l'empreinte optique effectuée, les modèles virtuels ainsi que les informations complémentaires peuvent être transférés vers le laboratoire de prothèse référencé qui procédera à la CAO et FAO. Dans ce cas, c'est de la CFAO semi-directe.

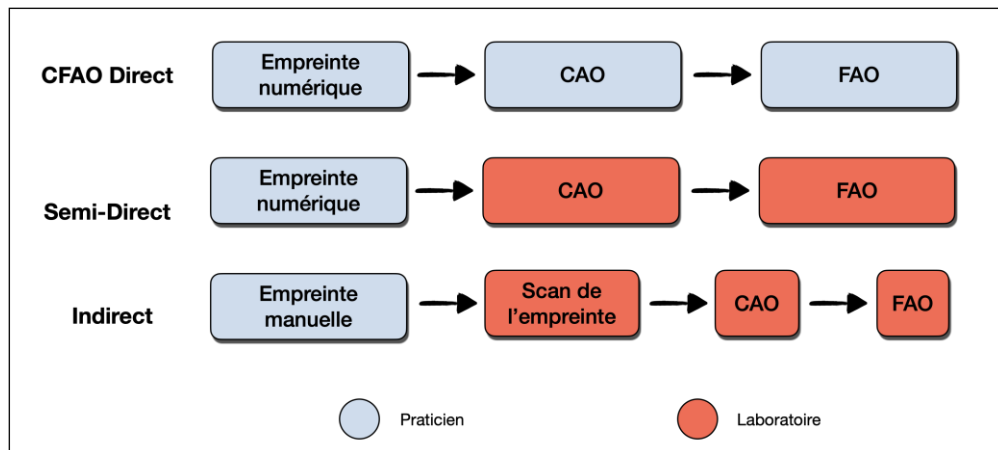
1.3.2.2 Empreinte chimico-manuelle - CFAO indirecte

En CFAO indirecte, le chirurgien ne change pas ses habitudes par rapport à la chaîne prothétique classique, car il réalise une empreinte physico-chimique conventionnelle qu'il enverra au prothésiste pour qu'il réalise l'acquisition des données. La chaîne numérique débute donc seulement lorsque le laboratoire numérise l'empreinte.

Il y a deux possibilités. Soit le prothésiste scanne directement l'empreinte, ce qui génère un maillage de points. Les points sont alors reliés entre eux pour former un modèle négatif, dans le but d'obtenir un modèle 3D par triangulation. Soit, il coule du plâtre dans l'empreinte, scanne le modèle grâce à un scanner de table et obtient directement un modèle 3D numérique.

La CFAO indirecte permet au chirurgien-dentiste d'éviter des investissements lourds, mais elle ne permet pas de s'affranchir des erreurs inhérentes aux empreintes conventionnelles. Cette technique est relativement répandue mais il ne s'agit pas d'une technique d'avenir.

Figure 9 : Différents types de CFAO dentaire



Source : Auteur, 2021.

1.3.3 Wax-up numérique

La conception assistée par ordinateur (CAO) est le deuxième maillon de la chaîne numérique, peu importe la méthode employée pour l'empreinte.

Une fois l'empreinte effectuée, elle est transférée dans un logiciel mathématique CAO, pour la modélisation du modèle prothétique. En CFAO indirecte ou semi-directe, le traitement passera par le laboratoire de prothèse, mais il peut également se faire directement au cabinet, si le praticien dispose de l'équipement dans sa totalité (CFAO directe). Lorsque le modèle 3D apparaît sur l'ordinateur, il est transféré sur le logiciel de CAO sous le format STL pour débiter la conception.

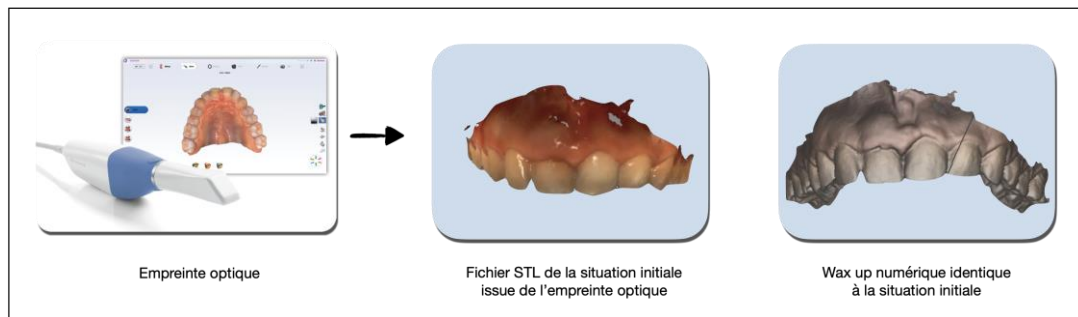
Dans le cas d'un édentement unitaire antérieur, nous pouvons faire face à plusieurs cas de figure. Le patient peut se présenter avec une dent dont l'anatomie coronaire et la position sont idéales. Le patient peut également se présenter en consultation avec une dent présente en bouche, mais dont l'esthétisme global (teinte, position, forme...) ne le satisfait pas. Enfin, il est fréquent que le patient se présente avec un édentement unitaire, ponctuellement compensé par une prothèse amovible, une gouttière ou un bridge collé.

1.3.3.1 Cas d'une dent présente et esthétiquement satisfaisante mais non conservable

Dans le cas d'un édentement unitaire antérieur où la dent serait présente et la couronne intacte, l'anatomie de la dent à extraire servira de projet prothétique.

Nous pouvons observer ce cas de figure lorsqu'une dent présente une résorption interne ou une fracture radiculaire. Le chirurgien-dentiste reprendra l'anatomie de la dent actuelle, présente sur le modèle 3D, pour positionner l'implant lors de la prochaine étape. Il n'est donc pas nécessaire de faire un wax-up numérique, car la dent actuelle répond déjà aux critères idéaux de position.

Figure 10 : Wax-up numérique dans le cas d'une 11 présente et esthétiquement satisfaisante



Source : Dr Ghoul, Romexis®, 2021.

1.3.3.2 Cas d'une dent présente mais esthétiquement inadaptée

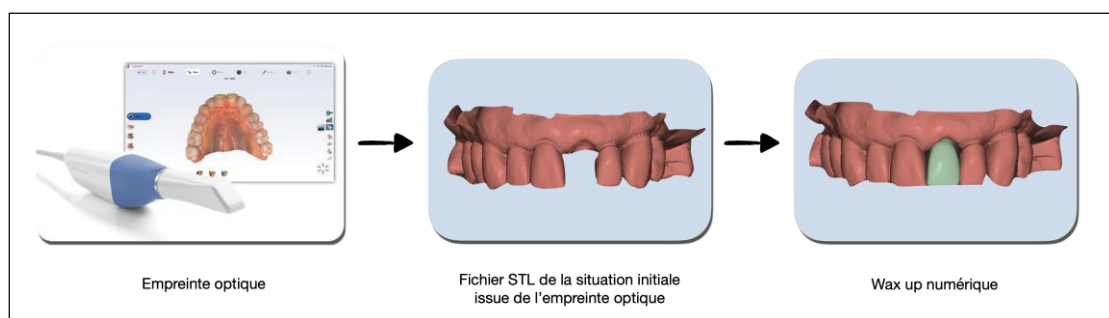
Il se peut que la dent présente en bouche ne soit esthétiquement pas satisfaisante. Elle peut être trop vestibulo ou linguo versée ou bien légèrement en rotation. Cette dent étant vouée à être extraite pour être remplacée, nous avons la possibilité d'améliorer cette position inesthétique. Grâce au logiciel de CAO, nous pouvons extraire virtuellement la dent. Le dentiste va alors positionner une nouvelle dent qu'il pourra trouver dans la base de données du logiciel CAO et réglera le profil d'émergence, les points de contact, l'occlusion et l'alignement avec les autres dents pour trouver la position idéale de la future dent.

1.3.3.3 Cas d'une dent absente

Dans le cas où le patient présente un édentement unitaire antérieur ou simplement une dent à l'état de racine, nous pouvons le compenser numériquement de la même manière que nous l'avons vu dans la partie 1.3.3.2.

L'objectif est d'obtenir un wax-up numérique qui préfigure la position idéale de la future dent afin de concevoir la planification implantaire en fonction de celle-ci.

Figure 11 : Wax up numérique dans le cas d'une 21 absente

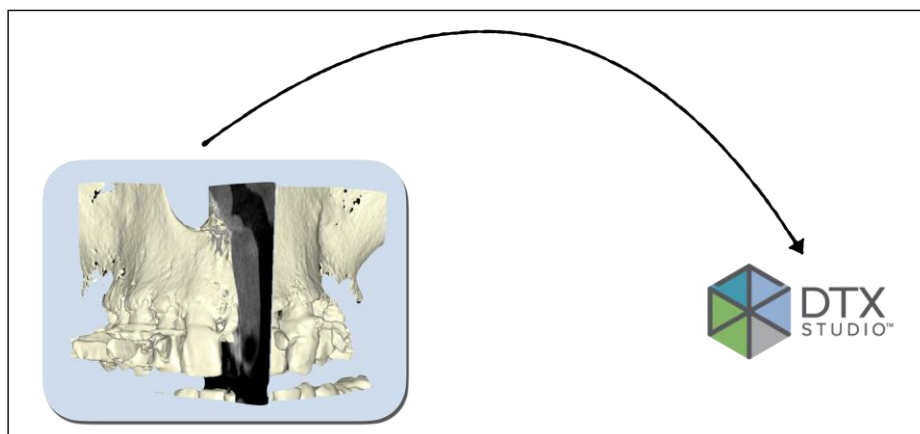


Source : Dr Laccourreye, Meshmixer®, 2021.

1.3.4 Fusion des données STL et DICOM

Le « matching » des données consiste en la superposition des fichiers DICOM et STL afin d'obtenir, au sein du logiciel de planification, les données radiologiques et cliniques au même endroit. La première étape consiste à intégrer le fichier DICOM dans le logiciel de planification.

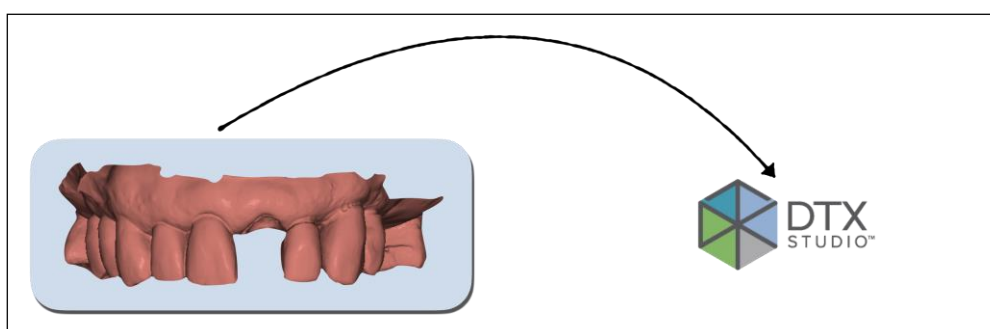
Figure 12 : Intégration du fichier DICOM issue du CBCT dans le logiciel de planification implantaire DTX Studio Implant®



Source : Dr Laccourreye, DTX Studio Implant®, 2021.

Puis, il faut télécharger le fichier STL de la situation initiale dans le même logiciel de planification.

Figure 13 : Intégration du fichier STL issue de l’empreinte optique de la situation initiale dans le logiciel de planification implantaire DTX Studio Implant®



Source : Dr Laccourreye, DTX Studio Implant®, 2021.

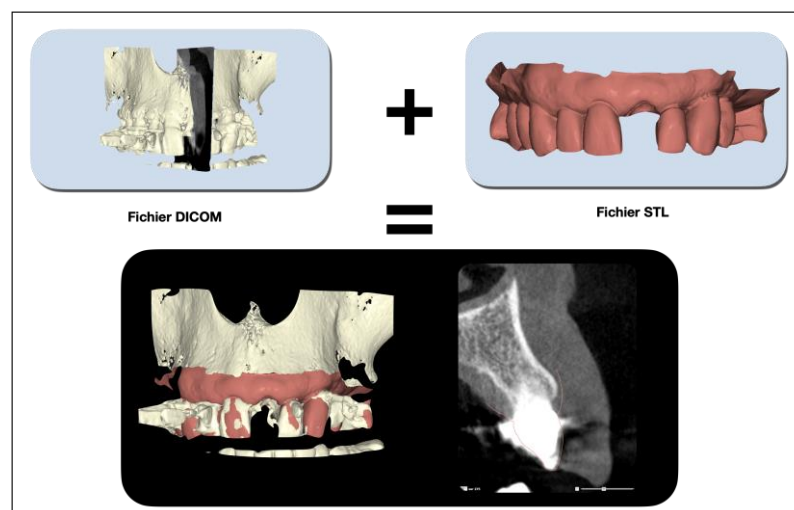
Le wax-up numérique créé par un premier logiciel sera donc fusionné avec l'examen radiologique 3D. Cette étape s'effectue en quelques clics. Pour aligner le rendu osseux généré par le fichier DICOM et le modèle virtuel STL, il faut sélectionner manuellement au moins trois points identifiables pour la

correspondance entre les deux fichiers, puis le logiciel automatise la superposition des fichiers. Plus il y aura de points sélectionnés, plus la précision sera importante (Hauschild et Rousset, 2013).

L'opacité radiologique des tissus mous ne permettant pas leur exploitation sur le fichier DICOM, il n'y a donc que les tissus osseux et dentaires qui sont enregistrés. De même pour le fichier STL, nous avons enregistré les tissus mous et dentaires. Les seuls éléments communs aux deux fichiers sont donc les dents, et plus précisément les sillons et les cuspidés. Dans le cas d'un édentement unitaire, les repères dentaires sont facilement identifiables, ce sont donc ces éléments qui permettront de réaliser la fusion de manière fiable.

Sur certains logiciels, la fusion des données se fait automatiquement, sans nécessairement sélectionner des points remarquables. Dans ce cas, il est essentiel de vérifier que les deux fichiers se superposent correctement car, si ce n'est pas le cas, cela pourrait engendrer des erreurs pour tout le reste des étapes du protocole.

Figure 14 : Intégration du fichier STL issue de l'empreinte optique de la situation initiale dans le logiciel de planification implantaire DTX Studio Implant®

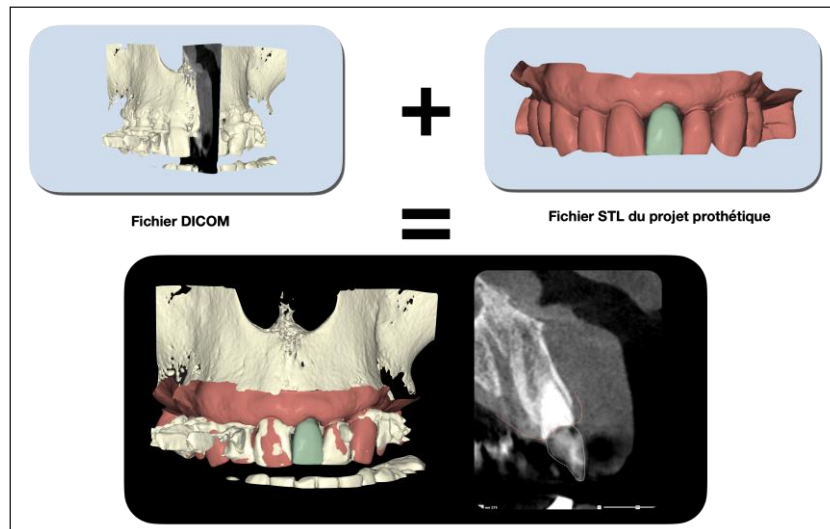


Source : Dr Laccourreye, DTX Studio Implant®, 2021.

Enfin, il faut importer dans le logiciel de programmation, le projet prothétique préalablement défini et le fusionner avec le fichier DICOM. Cela permettra donc d'obtenir sur une même image la situation anatomique et le projet prothétique, et ainsi débiter la planification implantaire en fonction du projet prothétique. Comme le souligne Schaefer, l'implantologie est une discipline prothétique incluant un composant chirurgical. L'objectif est donc de mettre en adéquation le projet prothétique avec les possibilités chirurgicales offertes par le site, d'anticiper les difficultés prothétiques éventuelles, et de concevoir au mieux le guide chirurgical.

Cette synchronisation des informations des tissus durs et des tissus mous entre eux est une clé indispensable pour passer du monde réel au virtuel dans tous les plans de l'espace et ainsi confectionner le guide chirurgical. Le chirurgien-dentiste va pouvoir débiter sa planification implantaire en fonction de l'axe idéal de la future prothèse qui vient d'être établi.

Figure 15 : Intégration du fichier STL issue de l'empreinte optique de la situation initiale dans le logiciel de planification implantaire DTX Studio Implant®



Source : Dr Laccourreye, DTX Studio Implant®, 2021.

2. Le numérique au cœur de la chirurgie

2.1 La planification numérique

2.1.1 Planification implantaire guidée par l'anatomie de la future restauration

Une fois les fichiers STL et DICOM fusionnés, le chirurgien-dentiste doit planifier la future position idéale de l'implant non plus uniquement en fonction du volume osseux, mais également en relation étroite avec la future émergence de la dent. En effet, depuis l'avènement du numérique ce n'est plus le volume osseux qui guide la position implantaire mais bien le projet esthétique envisagé au préalable. Dès lors que le volume osseux ne permet pas une position implantaire idéale en lien avec le projet prothétique, la pose implantaire ne pourra être réalisée et il faudra opter pour une autre stratégie chirurgicale. La CAO, en plus d'être un outil thérapeutique, apparaît également comme un outil de diagnostic.

En chirurgie implantaire, nous avons recours à des images sectionnelles obtenues grâce au cone beam. Cela permet d'analyser, dans les 3 plans de l'espace, l'os résiduel de nos patients afin de planifier le type d'implant qu'il faudra utiliser.

Il existe une bibliothèque d'implant dans le logiciel permettant de choisir la marque, la longueur et le diamètre de chaque implant. Mais il est également possible de placer des implants « personnalisés » en connaissant la longueur, le diamètre au col et celui à l'apex de l'implant.

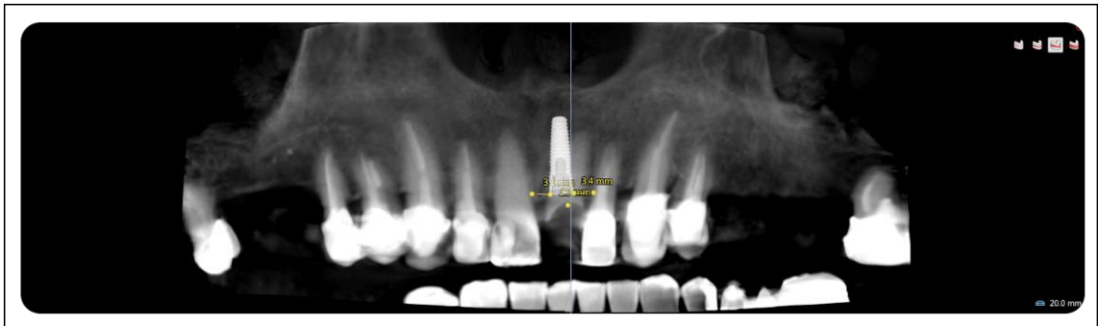
Nous avons également la possibilité de choisir le design implantaire c'est-à-dire d'utiliser des implants auto-taraudants, dans le but d'améliorer le contact entre l'os et l'implant et ainsi positionner l'implant sans exercer de pressions excessives sur les tissus osseux. Dans le cas d'une extraction-implantation immédiate, leur intérêt permet notamment une meilleure accroche apicale et donc d'optimiser la stabilité primaire(31).

La planification implantaire (32) débute en veillant à respecter un protocole rigoureux qui permettra d'éliminer les sources d'erreurs. Elle est très souvent réfléchie de sorte à pouvoir réaliser une prothèse transvissée.

1. Vérification du plan de référence
2. Vérification de l'échelle de reconstruction des coupes coronales : l'échelle millimétrique de lecture des coupes est de 1.
3. Vérification de l'espacement des coupes de reconstruction coronale : espacé de 1 ou 2 mm.

4. Choix des coupes d'intérêt : en affichant les 4 plans du CBCT. L'objectif ici est d'obtenir une coupe panoramique des dents en passant par le centre de la dent à remplacer. Pour un édentement antérieur unitaire, il convient de repérer les coupes où apparaissent les racines des dents adjacentes distales et mésiales. L'implant est alors positionné au centre de cet espace dont la coupe d'intérêt de l'implant correspond à la coupe médiane de cet espace.

Figure 16 : Positionnement de l'implant en 3D sur une coupe panoramique issue du CBCT



Source : Dr Laccourreye, DTX Studio Implant®, 2021.

5. Repérage des structures à risque : le plancher des fosses nasales et le canal naso-palatin sont les principales structures nobles auxquelles il faut redoubler d'attention dans le secteur antérieur maxillaire. De manière générale, une distance de sécurité moyenne de 2 mm est à respecter entre chaque structure. Le chirurgien-dentiste contrôle simultanément les plans sagittaux, axiaux, les coupes obliques et une reconstruction tridimensionnelle, ce qui lui permet de respecter au mieux les obstacles anatomiques afin d'anticiper la séquence de forage.
6. Évaluation de la densité osseuse : la stabilité primaire de l'implant est primordiale. C'est l'un des critères fondamentaux de l'ostéointégration. Dans le cas d'une temporisation immédiate, il est très important d'avoir une stabilité primaire de l'implant supérieur à 30 N/cm. La densité de l'os du site à planter va influencer sur les critères de choix de l'implant ainsi que sur le protocole chirurgical. Cette évaluation se fait en fonction de la classification de Lekholm et Zarb (1985).
7. Choix de la longueur de l'implant : L'importance de la longueur et du diamètre de l'implant pour améliorer la stabilité primaire a été démontrée par Huang H. et al (2016) dans une étude mathématique (33). Selon eux, lors des extractions-implantations immédiates, il est nécessaire d'adapter la forme de l'implant au site opératoire pour optimiser le contact os-implant. En secteur antérieur, le chirurgien-dentiste a tendance à favoriser des implants relativement

longs pour obtenir un ancrage apical et assurer une stabilité suffisante pour permettre une mise en esthétique immédiate.

8. Choix du diamètre : il va conditionner le profil d'émergence de la restauration. Il est conditionné par le volume osseux disponible ainsi que le projet prothétique. Il est admis que le diamètre de l'implant doit être légèrement inférieur ou au maximum égal au diamètre cervical de la dent qu'il remplace afin d'obtenir le profil d'émergence idéal. Dans le secteur antérieur, rappelons que la distance à respecter entre un implant et une dent doit être de 1,5 mm. (34)

Tableau 2 : Diamètre idéal de l'implant en fonction des dents antérieurs maxillaires

Dents maxillaire	Incisive centrale	Incisive latérale	Canine
Diamètre idéal de l'implant (en mm)	4 - 4,5	3 - 3,5	4 - 5

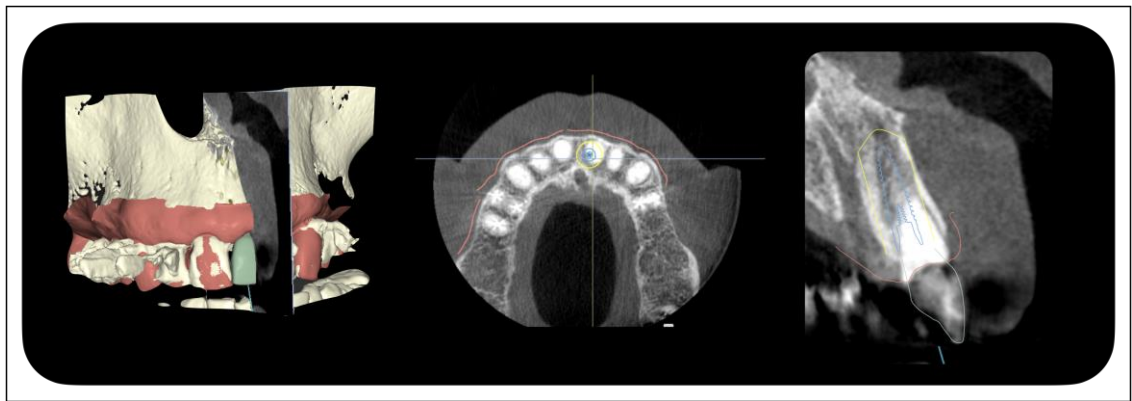
Source : Berdougo, Peltier et Diss, « La planification implantaire », 2010.

9. Choix de l'axe : il faut positionner l'implant puis choisir l'orientation dans les 3 plans de l'espace avec une attention particulière pour l'enfoncement dans corono-apical, afin d'obtenir le profil d'émergence le plus adéquat. Nous pouvons également décider du mode de liaison prothétique : transvissé si l'implant est dans l'axe prothétique idéal ou bien scellé avec un pilier angulé si l'émergence du puit de vis implantaire se trouve sur la face vestibulaire de la future couronne. Il est également possible, dans certaines situations, de compenser un axe grâce à des tournevis angulés.
10. Décision thérapeutique : à l'issue de cette planification rigoureuse, nous pouvons être confrontés à trois situations :
 - Le projet implantaire est en accord avec les possibilités anatomiques. Il s'agit du cas idéal, car le volume osseux disponible concorde avec le projet implantaire lui-même guidé par le projet prothétique idéal.
 - Le projet implantaire n'est totalement en accord avec les possibilités anatomiques et osseuses. Dans ce cas, nous pouvons modifier légèrement la position de l'implant et/ou utiliser des piliers angulés par exemple.
 - Le projet implantaire est en complet désaccord avec le volume osseux sous-jacent généralement créé par l'espace résiduel (gap) entre les murs osseux résiduels et le col implantaire.

Dans le cas où cet espace est supérieur à 2 mm, le volume doit être comblé par une régénération osseuse guidée (ROG). Il est important de noter que ce sont des techniques de préservation de l'os existant et non de reconstruction. En effet, la planification implantaire permet de juger de la nécessité d'un aménagement osseux et/ou muqueux durant la chirurgie dans le sens transversal ou vertical (greffe osseuse, régénération osseuse guidée) permettant d'obtenir un résultat optimal.

Enfin, dans les trois situations, la prévisualisation de la couronne permet de déterminer si l'axe implantaire est compatible avec une prothèse transvissée ou non.

Figure 17 : Positionnement de l'implant en 3D sur différentes coupes issues du CBCT sur le logiciel de planification DTX Studio Implant®



Source : Dr Bayet, DTX Studio Implant®, 2021.

Une fois l'implant positionné, quelles que soient les modifications apportées à l'implant, celles-ci se répercutent en temps réel dans les trois dimensions de l'espace. Des alertes visuelles indiquent la proximité avec un élément anatomique (dent voisine, nerf, implant voisin, ...).

La planification de l'implant ainsi que l'image virtuelle de la future dent et de son couloir prothétique idéal nous permettent d'anticiper et de sécuriser l'acte chirurgical. Nous pouvons donc visualiser une simulation de la pose de l'implant et de l'axe idéal par rapport à son couloir prothétique ainsi qu'une simulation virtuelle de la prothèse sur l'implant. (35)

Une fois la position idéale de l'implant déterminé, il faut transférer cette planification virtuelle dans la bouche du patient. C'est ici qu'intervient le guide chirurgical.

De la prise de l'empreinte optique jusqu'à la planification implantaire en passant par la réalisation du wax-up, le chirurgien-dentiste respecte la continuité du flux digital, aussi appelé le "digital workflow". Le praticien, s'il est suffisamment équipé, a la capacité de réaliser toutes ces étapes sans la nécessité

d'un laboratoire tiers (en "chairside"). Même si cela demande un certain temps d'adaptation ainsi qu'une courbe d'apprentissage non négligeable, le gain de temps et de précision durant toutes les phases du traitement sont bénéfiques pour le praticien ainsi que pour le patient.

2.1.2 Modélisation et caractéristiques d'un guide chirurgical

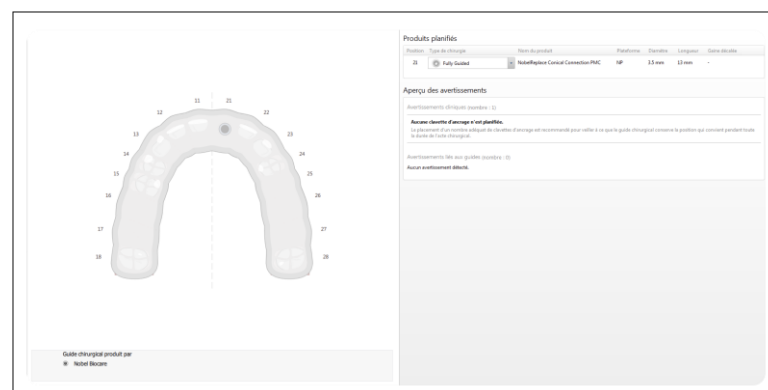
Lorsque le cone-beam est réalisé, l'empreinte optique numérisée et la planification implantaire terminée, comment s'assurer que le geste chirurgical y soit parfaitement conforme ? La réalisation d'un guide chirurgical prend ici tout son sens. Il a un rôle décisif et permettra la pose guidée de l'implant dont la position répondra au projet prothétique optimal et à son environnement clinique (36).

Le chirurgien-dentiste peut procéder au design de son guide sur un logiciel CAO dentaire ou bien déléguer à un laboratoire formé à la chirurgie guidée.

Aujourd'hui, il est possible de modéliser virtuellement le guide chirurgical dans des logiciels comme *Blue Sky Plan®*, *NobelGuide®*, *Simplant®*, ou *Easyguide®* et d'en extraire un fichier STL, qui sera par la suite imprimable à l'aide d'un logiciel tiers et d'une imprimante adaptée.

Pour confectionner le guide, il faut dans un premier temps sélectionner le type d'appui, préalablement établi dans le plan de traitement. Pour un édentement unitaire, un guide à appui dentaire est choisi en s'appuyant sur un maximum de surface, car cela augmente la précision (37). Il est admis qu'un minimum de deux appuis dentaires parfaitement stables est indispensable pour obtenir une bonne stabilité du guide, l'idéal étant d'avoir au moins quatre dents parodontalement immobiles. Ensuite, il faut choisir la dent à remplacer. C'est à cet endroit que la douille métallique sera positionnée une fois le guide imprimé. Il faut ensuite choisir le type de guide (complètement guidé, foret pilote...). Il est important de rentrer dans le logiciel les références de l'implant (diamètre et longueur) pour calculer l'enfouissement de l'implant et donc le positionnement en hauteur de l'émergence de la douille.

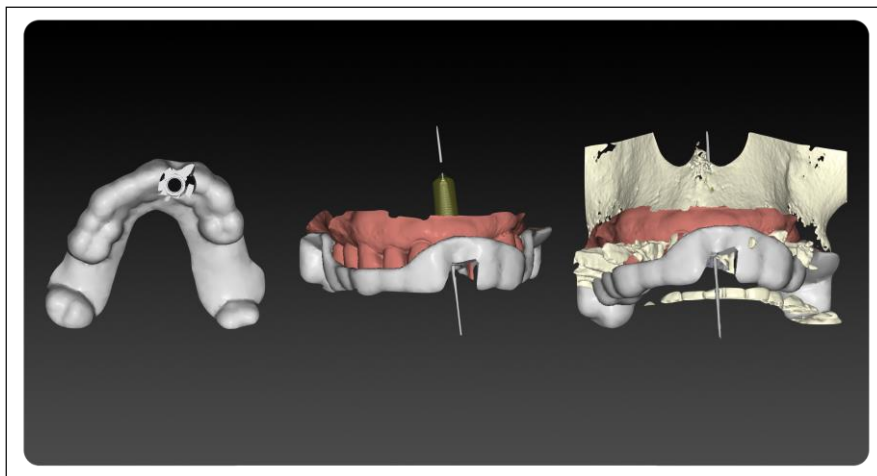
Figure 18 : Création d'un guide chirurgical pour un futur implant en 21



Source : Dr Bayet, DTX Studio Implant®, 2021.

Une fois les paramètres pris en compte par le logiciel, il est capable de proposer automatiquement un guide, qu'il est possible de positionner sur le fichier STL "empreinte optique + planification implantaire" ou "empreinte optique + planification implantaire + fichier DICOM". Ces différentes vues servent à vérifier l'interférence potentielle avec les tissus mous et à confirmer qu'il s'appuie bien sur les dents.

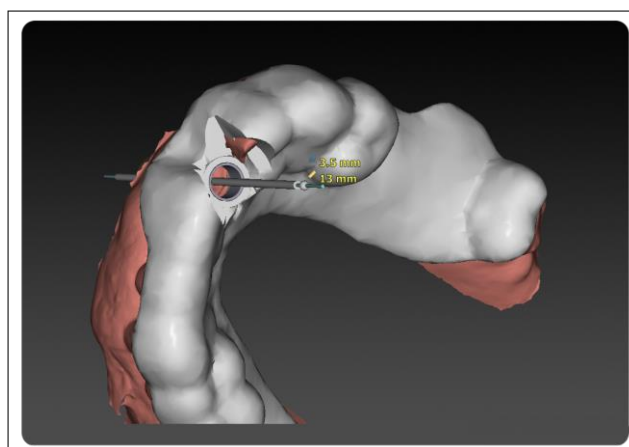
Figure 19 : Modélisation d'un guide chirurgical « full guided » à appuie dentaire pour un implant en 21



Source : Dr Bayet, DTX Studio Implant®, 2021.

Le guide présente des fenêtres permettant de vérifier l'enfoncement et son bon positionnement en bouche. Ces fenêtres servent à vérifier l'enfoncement ainsi que le bon positionnement. Il ne faut pas qu'il existe de hiatus entre le guide et le bord libre des dents.

Figure 20 : Fenêtre d'ouverture du guide pour la vérification de son enfoncement en bouche



Source : Dr Bayet, DTX Studio Implant®, 2021.

On peut également classer les guides par leur niveau de guidage.

2.1.2.1 Guide à foret pilote

Ce guide est constitué d'une douille métallique standard et sert à passer uniquement le foret initial ou foret pilote qui est de 2 mm. Puis, les autres forets de la séquence et l'implant sont posés à main levée. Il permet donc de transférer de manière fidèle l'axe implantaire précédemment planifié, et la distance entre les dents et l'implant comme définis dans le projet implantaire. Malheureusement, le guide pilote ne permet pas de gérer la profondeur de forage puisqu'il n'y a pas de butée sur le foret. Ces guides sont très souvent utilisés et ont fait leurs preuves, mais ne permettent pas d'éviter la déviation lors du passage des autres forets ou de l'implant. Il a tout de même l'avantage de pouvoir être utilisé par tous les systèmes implantaires avec une trousse d'accastillage classique, ce qui présente un avantage financier non négligeable.

2.1.2.2 Guide de forage complet

Ces guides permettent au praticien de passer plusieurs forets de diamètre différents, en clippant au fur et à mesure du forage, les douilles de diamètres différents et ainsi créer un élargissement progressif du site implantaire. Cela permet également de s'affranchir de la trousse spécifique de chirurgie guidée, car il s'adapte à n'importe quel système d'implant. Il permet de gagner en précision par rapport au guide à foret pilote car il va guider non pas un mais tous les forets. La mise en place de l'implant à proprement dite se fera donc à main levée. Il est donc possible de dévier légèrement de l'axe planifié au moment de la pose. Les facteurs liés à cette déviation peuvent provenir d'une non-mémorisation de l'axe implantaire, de la non-passivité du geste, de l'utilisation d'un implant auto-taraudant ou de la présence d'une faible densité osseuse.

2.1.2.3 Complètement guidé ou « Full guided »

Ce type de guide permet le guidage des différents forets de la séquence de forage, jusqu'à la pose de l'implant, lui-même dirigé à travers le guide. Il permet donc de le faire progresser dans le bon axe et d'arrêter l'implant à la bonne profondeur grâce à la butée. Les sources d'erreurs sont donc minimisées et le gain de précision est le plus élevé. La différence de position entre la planification et la réalité est de l'ordre du micron (38), car l'enfouissement est contrôlé à chaque étape contrairement au guide à foret pilote. Cela permet une grande prévisibilité du positionnement des implants comparativement à la chirurgie à main levée (35). Cependant, il est difficile pour le chirurgien de savoir s'il obtient une stabilité primaire lors du forage ou non. De plus, cette technique nécessite une trousse d'accastillage spécifique contenant des forets spécifiques, ce qui présente un coût supplémentaire pour le praticien.

2.1.2.4 Comparaison des types de guidage

Tableau 3 : Comparaison des différents types de guidage chirurgicaux

		Le plus fiable
Guide à foret pilote	Guides de forage complet	Complètement guidé ou "Full guided"
Compatible avec tous les systèmes implantaires	Compatible avec tous les systèmes implantaires	Trousse de chirurgie guidée spécifique
Guidage d'un seul foret (pilote)	Guidage de tous les forets de la séquence	Guidage de tous les forets de la séquence + de l'implant
Précision du transfert +	Précision du transfert ++	Précision du transfert +++
80% de la chirurgie	90% de la chirurgie	100% de la chirurgie

Source : 3D Celo, « Les différents type de guides chirurgicaux », 2018.

Fernando Bové Ramos a réalisé une méta-analyse publiée dans le JOMI (The international Journal of Oral & Maxillofacial Implants) en janvier 2018. Il compare la précision d'une chirurgie partiellement guidée (le guide a été retiré pour la pose de l'implant) avec celle d'une chirurgie totalement guidée. Les déviations horizontales, verticales et angulaires entre les implants planifiés et les implants posés ont été examinées. L'étude de Fernando Bové Ramos (39) conclut que la chirurgie totalement guidée apporte une meilleure précision que la chirurgie partiellement guidée. En effet, les résultats de l'étude ont rapporté que la chirurgie implantaire entièrement guidée offre une déviation coronale et apicale significativement moindres comparée à la chirurgie partiellement guidée (1,08 mm +/-0,10 vs 1,42 mm +/-0,20 et 1,35 mm +/-0,12 vs 1,92 mm +/-0,25) ainsi qu'une déviation angulaire significativement moindre lorsque la chirurgie est totalement guidée (3.62° +/-0,5 vs 5,82° +/-0,59).

2.1.3 Fabrication du guide chirurgical

La technologie numérique nous a apporté une grande avancée aussi bien dans la planification que dans la réalisation de l'acte chirurgical, uniquement possible en transposant de façon très précise et reproductible nos planifications virtuelles en réalité clinique grâce au guide chirurgical.

Le guide conçu numériquement pourra alors être usiné (en l'envoyant dans un laboratoire) ou imprimé en 3D (directement dans notre cabinet) avec une imprimante comme la FormLabs ou Asiga.

- Le procédé SLS (Selective Laser Sintering) est une technique de prototypage rapide par frittage laser sélectif sans phase liquide. Il est utilisé pour créer des objets 3D, couche par couche, à partir de poudres qui sont frittées ou fusionnées grâce à l'énergie d'un laser de forte puissance, comme un laser CO2 ou un laser infrarouge. Grâce à la variété des matériaux pouvant être utilisés par ce procédé, une large gamme d'applications est possible. La précision dimensionnelle de cette technique est de 0,25 mm. Les guides et modèles issus de ce procédé sont opaques.
- La stéréolithographie (SLA) est également une technique de prototypage rapide, qui permet de fabriquer des objets solides à partir d'un modèle numérique. L'objet est réalisé à partir d'un modèle numérique par ajout de matière à l'aide d'un laser ultraviolet. Il est obtenu par superposition de tranches fines de matière. Le procédé est le suivant : la stéréolithographie se compose d'une cuve contenant une résine acrylique liquide photosensible juste au-dessus de laquelle est monté un laser. La source lumineuse va photopolymériser une couche de résine par incréments de 1 mm, puis le support va descendre dans le bac, emportant avec elle la couche de résine précédemment polymérisée du modèle. La profondeur de la descente correspond à l'épaisseur de la couche polymérisée. Ensuite, la source lumineuse va polymériser la couche suivante, mais également polymériser les deux premières couches entre elles. De cette manière, le guide chirurgical est créé.

Les guides et modèles issus de ce procédé sont translucides. En chirurgie implantaire guidée, la technique la plus fréquemment utilisée est la stéréolithographie. De plus, il est préférable d'utiliser des guides ouverts, car le chirurgien-dentiste conserve un visuel sur les dents et il garde l'habitude de travailler "sans guide" avec des repères dentaires et spatiaux.

Le guide, une fois imprimé nécessite un post-traitement qui comprends sept étapes :

1. Le retrait des pièces de la plateforme de fabrication
2. Le rinçage des pièces à l'alcool isopropylique à 90% pendant 20 minutes pour éliminer les résidus de résine liquide avant l'étape de post polymérisation
3. Le séchage des pièces à l'air libre pendant environ 30 minutes

4. La post-polymérisation des pièces pour qu'ils deviennent biocompatibles et optimiser leurs propriétés mécaniques.
5. Le retrait délicat du support d'impression
6. Et enfin le polissage soigneux du guide à l'aide d'un papier de verre ou d'un instrument de polissage
7. Pour finir, l'assemblage du guide chirurgical permet son utilisation correcte. Il ne reste plus qu'à assembler dans le guide, le manchon de guide sélectionné lors de la conception. La friction maintient le tube métallique en place.

Le guide se stérilise dans l'autoclave avec un cycle très court et à faible température. Ensuite, il est mis sous sachet jusqu'à la chirurgie et doit être désinfecté juste avant son utilisation.

2.1.4 Divergences inhérentes à la précision de fabrication du guide chirurgical

Comme décrit précédemment, le guide chirurgical est souvent réalisé par stéréolithographie, la précision des machines est de plus ou moins 0,1 mm par 100 mm, soit un taux d'erreur de 0,1%. Les dispersions ne devraient donc pas être imputées à la fabrication du guide chirurgical (d'Haese et al. 2009) (40).

2.2 La chirurgie implantaire guidée

Le domaine de l'implantologie orale a été bouleversé grâce à l'avancée technologique dans l'implantologie moderne, dans les techniques d'imageries et dans la révolution du numérique. Ces innovations technologiques nous amènent vers un nouveau protocole d'implantologie assistée par ordinateur (IAO), plus connu sous le nom d'implantologie guidée. Cette technique innovante ne déroge pas à la règle du projet prothétique qui pilote la position de l'implant, mais apporte une aide précieuse en termes de précision, de suites opératoires, d'expérience patient, de confort pour le praticien, de gain de temps et de coût, pour ainsi garantir un résultat prévisible et donc reproductible. (41)

2.2.1 Déroulé de l'intervention

Prenons le cas d'un édentement antérieur unitaire où la dent/la racine est encore présente en bouche le jour de la chirurgie. La chirurgie sera réalisée avec un guide « full guided ».

Figure 21 : Situation initial - 21 à l'état de racine



Source : Dr Bayet, 2021.

1. Le patient s'installe au fauteuil et le dentiste peut débuter l'anesthésie, infiltration lente avec de l'articaine en concentration 1/100 000.
2. Le praticien va procéder à l'extraction atraumatique de la dent(42) 21 à l'aide d'un davier. L'intégrité de l'alvéole est vérifiée avec une sonde parodontale. Le chirurgien effectuera un curetage minutieux afin d'éliminer tout résidu fibreux. Le but étant d'obtenir une alvéole saine afin d'obtenir le processus de cicatrisation le plus rapide possible.

Figure 22 : Extraction atraumatique de la 21 à l'aide d'un davier et curetage de l'alvéole



Source : Dr Bayet, 2021.

3. Le chirurgien positionne le guide chirurgical sur les dents, en vérifiant sa stabilité et sa congruence exacte sur les surfaces occlusales. Le guide à appui dentaire doit être stable et sa position doit être reproductible. S'il n'est pas adapté ou s'il existe un mouvement de bascule, il faudra alors le refaire et reporter la chirurgie à une date ultérieure.

Figure 23 : Mise en place du guide chirurgicale. Son bon positionnement est validé grâce aux fenêtres d'ouvertures sur 11 et 22

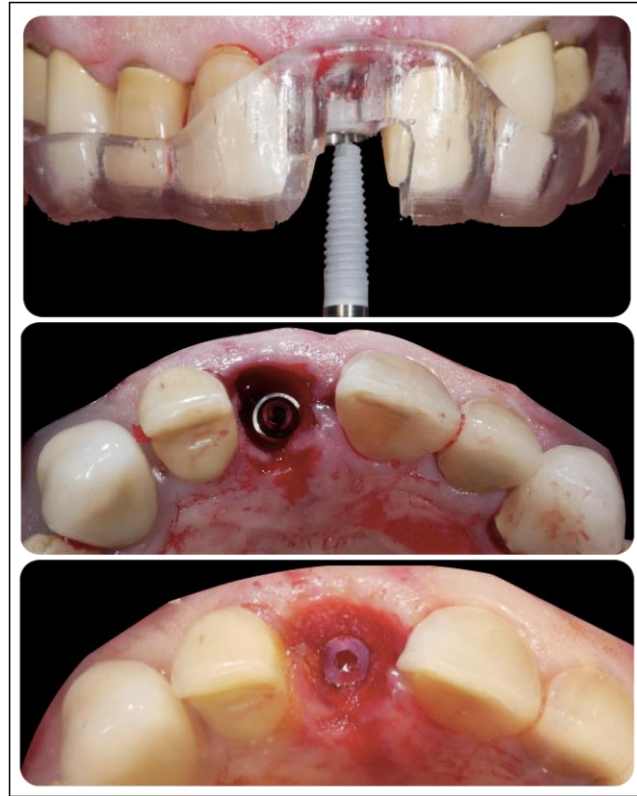


Source : Dr Bayet, 2021.

4. Une fois le guide en bouche, le chirurgien-dentiste va passer le foret pilote à travers la bague en titane. Le bout de la bague est situé à 10 mm du col de l'implant, c'est-à-dire qu'il y a 10 mm entre la surface de la bague et le col de l'implant. Ce foret va déterminer la profondeur et l'axe du puit implantaire. Il est constitué d'une butée, de longueurs différentes en fonction des marques implantaires.
5. Le chirurgien fore à la vitesse recommandée par le fabricant jusqu'à la butée fixée, sous irrigation externe. Il progresse dans l'os sans forcer en effectuant des mouvements de va-et-vient pour éliminer les débris osseux en les faisant remonter le long de l'hélice et refroidir la pointe du foret dans le guide. Il peut arriver que le foret se bloque, il pourra alors être dégagé en mode reverse.
Il faut toujours vérifier que l'os saigne durant le forage. Si ce n'est pas le cas, le chirurgien peut passer une petite curette au travers du guide pour vasculariser l'alvéole.
6. Une fois l'intégralité des forets passée, le chirurgien-dentiste placera l'implant à travers le guide.
7. Une fois l'implant posé, le chirurgien retire le guide et peut prendre une radiographie rétro-alvéolaire afin de contrôler le positionnement intra-osseux de l'implant.
8. Il est fréquent que le dentiste ait besoin de combler l'espace résiduel entre l'implant et la corticale vestibulaire afin de limiter toute fonte tissulaire et de conserver un bon contour

gingival. Un apport de tissu conjonctif enfoui dans la région du collet peut aussi être réalisé dans le même objectif.

Figure 24 : a) Mise en place de l'implant à travers le guide chirurgical b) Émergence palatine de l'implant c) Comblement osseux entre la table osseuse vestibulaire et l'implant



Source : Dr Bayet, 2021.

2.2.2 Avantages de la chirurgie guidée

Les techniques conventionnelles employées en implantologie ont fait leurs preuves, mais présentent certaines limites notamment en termes de précision d'axe implantaire vis-à-vis des dents adjacentes et des éléments nobles de la zone à planter. Depuis quelques années, nous observons l'essor des technologies et leurs nombreux avantages pour nous accompagner dans notre pratique courante, dans le but d'avantager aussi bien le patient que le praticien.

La chirurgie guidée et tous les concepts préliminaires qui lui incombent permettent :

- **D'anticiper les obstacles anatomiques** en amont de la chirurgie (le projet implantaire décidé avant l'intervention sur l'écran est exécuté en bouche sans aucune modification).
- **D'être en adéquation avec l'axe idéal de la future prothèse tout en respectant le volume osseux résiduel** : Les volumes osseux disponibles sont donc optimisés, les axes

de forage dans l'os sont anticipés et permettent parfois d'éviter de recourir à des greffes osseuses. En implantologie conventionnelle, il est difficile d'obtenir l'axe idéal car le foret a tendance à aller vers la zone de moindre résistance, c'est-à-dire vers l'alvéole post extractionnelle.

- **De réduire le temps d'intervention grâce à une simplification du protocole.** Nous observons un gain de temps lors de la conception du projet prothétique, de la conception du guide et de sa fabrication. Avec la méthode conventionnelle, il faut entre 24 et 48h pour fabriquer un guide chirurgical. Ceci est dû aux nombreuses étapes de laboratoire (coulée du plâtre, transformation du guide radiologique, traitement des résines, finition, polissage), alors qu'il faut seulement 15 minutes pour concevoir le guide sur le logiciel et seulement 40 min à 2h pour le produire par impression 3D.
- **D'augmenter la précision et la reproductibilité du geste chirurgical :** Le placement précis de l'implant dans l'os disponible permet de réduire le recours aux greffes, voire permettre la pose d'implant dans des cas complexes où des limitations anatomiques avaient précédemment empêché le traitement.
- **D'améliorer les résultats prothétiques :** La prothèse est parfaitement homothétique, le pilier est centré, les puits de vissage sont idéalement placés afin d'obtenir un meilleur parallélisme. L'environnement péri-implantaire est respecté et la pérennité de la santé parodontale est garantie (pas de tassement alimentaire, tissu mou respectés, ...). Nous aurons donc une adaptation maximale de la prothèse supra-implantaire en fonction de l'alignement dentaire.
- **De faciliter la préfabrication de la prothèse :** dans le cas d'une mise en esthétique immédiate, la prothèse provisoire implanto-portée peut être fabriquée avant même que les implants ne soient posés.
- **D'augmenter la sécurité :** Dans le secteur antérieur, la position implantaire joue un rôle prépondérant dans le résultat esthétique final. La chirurgie guidée nous apporte une sécurité quant à la prévisibilité de la position de l'implant et de la future couronne prothétique, ce qui réduit le stress du chirurgien, l'improvisation au cours de l'intervention et sécurise le geste chirurgical en respectant le contexte osseux.
- **De garantir un meilleur contrôle des suites opératoires :** avec une réduction des risques hémorragiques pré-opératoires (notamment chez les patients âgés et/ou sous anticoagulants), une diminution de la résorption osseuse (le périoste est conservé donc induit une meilleure vascularisation) ainsi qu'une baisse du risque infectieux (car la porte d'entrée bactérienne est restreinte). La chirurgie guidée permet également

de réduire la douleur, l'inflammation et les œdèmes post-opératoires car la chirurgie est effectuée sans lambeau. Enfin, elle permet d'optimiser la vitesse de cicatrisation car la chirurgie est plus rapide et les suites post-opératoires sont donc plus douces.

- **D'augmenter le confort pour le patient :** Grâce à cette méthode, la chirurgie est moins invasive, moins lourde et réduit le temps opératoire. Il est donc moins anxieux quant aux suites opératoires. De plus, cette méthode répond pleinement aux doléances esthétiques des patients, notamment dans le secteur antérieur. Il est à noter que le niveau de satisfaction des patients est augmenté par rapport au traitement conventionnel (patients interrogés sur la durée de l'intervention, la douleur, l'inconfort ressenti lors de la première semaine post-opératoire et leur avis quant à la recommandation de cette chirurgie à un proche). (43)
- **De garantir une communication optimale avec le patient :** Le guide chirurgical peut aussi être considéré comme un outil de communication avec le patient qui sert à lui expliquer les étapes clefs et à le mettre en confiance. Le praticien peut même réaliser un prototypage rapide des solutions prothétiques envisageables pour en discuter avec le patient en toute transparence et retenir l'option qui lui semble la plus adaptée. Le support numérique est un outil de choix pour faire passer les informations et recueillir le consentement éclairé du patient.

La chirurgie implantaire guidée et assistée par ordinateur en flux numérique continu améliore la précision de la position de l'implant(44). Cette position est en accord avec les objectifs prothétiques. La procédure entièrement numérique est plus prévisible et reproductible pour le dentiste, améliore l'expérience patient ainsi que la capacité de survie de l'implant (Pozzi et coll., 2016). De plus, les logiciels de planification ont vu le taux d'erreurs chirurgicales diminuer considérablement, ce qui nous a permis de repousser les limites de l'implantologie et de réduire considérablement les échecs implantaires. (45)

2.2.3 Difficultés et limites de la technique

La planification implantaire assistée par ordinateur est un outil révolutionnaire nécessitant l'acquisition de nouvelles compétences informatiques pour les chirurgiens-dentistes. Le praticien est face à une courbe d'apprentissage qu'il faudra surmonter pour gagner réellement du temps et de la confiance dans ses gestes. Les dentistes doivent se familiariser avec les trousse chirurgicales destinées à la chirurgie guidée qui contiennent un accastillage plus important par rapport aux trousse implantaires classiques. De plus, c'est une technique très sensible et opérateur-dépendante, qui

nécessite une communication parfaite avec le prothésiste, car dans certains cas, il peut être libre de faire beaucoup de choix.

Malgré la sécurité et la prédictibilité que cette technologie apporte au praticien, elle nécessite de la part de ce dernier une rigueur à toute épreuve à chaque étape, de la planification à la pose de la couronne. En effet, il est important de rappeler qu'il faut rester vigilant quant à l'utilisation de la chirurgie guidée assistée par ordinateur. Comme nous l'avons vu, les nombreuses étapes peuvent être une source d'erreurs. Il faudra donc prévoir la meilleure planification initiale possible ainsi que prendre de multiples précautions lors du déroulement des diverses phases du traitement.

De plus, l'innovation technologique apportée n'exempte pas le dentiste des connaissances fondamentales d'anatomie et la maîtrise des techniques chirurgicales conventionnelles. Par ailleurs, l'expérience du chirurgien est primordiale, car en cas d'événement inattendu ou de complications per-opératoires avec le guide, il doit savoir reprendre la main sur la chirurgie et s'adapter au cas clinique en question. Il pourrait s'agir par exemple d'une impossibilité d'obtenir la stabilité primaire de l'implant, auquel cas le praticien serait amené à placer l'implant de façon non guidée, à enfouir l'implant ou à ne pas le placer du tout. Les guides chirurgicaux s'adressent donc à un panel de chirurgiens déjà expérimentés.

Enfin, les déviations observées sur les implants posés dans le cadre d'une chirurgie implantaire guidée sont la somme cumulée de toutes les erreurs provenant de chaque étape du protocole(46) .

Ces erreurs peuvent provenir :

- De l'acquisition des données tomographiques
- De légers mouvements du patient pendant la réalisation du scanner
- De la planification informatique
- De la fabrication du guide chirurgical
- De la mise en place et de la stabilisation du guide en bouche au moment de la chirurgie
- Du degré de liberté du foret par rapport au diamètre interne du tube en métal du guide
- De la forme conique ou cylindrique des implants
- De l'utilisation de guides foret pilote et non « full guided »
- De l'absence ou de la proximité de dents par rapport au site implantaire
- De la densité osseuse du site à implanter
- De l'épaisseur de la muqueuse buccale
- De la limitation d'ouverture buccale du patient (moindre en antérieur)
- De la nécessité de connecter des piliers coniques en cas de mise en charge immédiate.

Si nous parvenons à améliorer chacun de ces facteurs, cela pourrait contribuer à réduire ces déviations. Cette méthode de forage avec guide chirurgical paraît donc convenable, mais avec un utilisateur aguerri, celui-ci évalue les forages et les axes en vision clinique directe tout au long de la chirurgie.

La pose d'implant semble donc améliorée avec l'aide d'un guide chirurgical. Mais Nickenig nous explique bien que les moyennes sont correctes, mais que des valeurs très éloignées existent, qui sont cliniquement inacceptables (développé dans la partie 2.2.4). Une vérification permanente des axes est indispensable et il est évident qu'une confiance aveugle envers notre guide est impossible. (38)

Mais alors pourquoi utiliser un guide chirurgical si le chirurgien doit finalement vérifier son axe de forage comme il le fait déjà sans guide ?

Il est vrai que le chirurgien-dentiste doit rester prudent quant à sa confiance envers le guide, mais il permet tout de même de sécuriser les gestes chirurgicaux et d'obtenir une prédictibilité ainsi qu'une reproductibilité essentielle à l'amélioration de l'expérience praticien et patient.

Un point important dans le quotidien d'un dentiste quant à l'utilisation d'un guide chirurgical de manière systématique est son coût. Malgré ses innombrables avantages, le principal frein à la chirurgie guidée est le prix, qui peut clairement impacter le coût total du traitement implantaire. Un bon moyen de réduire les frais pour les implantologues serait d'investir dans une imprimante 3D au sein même du cabinet afin d'imprimer le guide chirurgical sur place. Cela nécessite toujours un apprentissage préalable afin de se familiariser avec la technique de stéréolithographie, mais reste tout de même un protocole simple, rapide qui aura pour avantage de moins influencer sur le coût du traitement implantaire pour le patient.

Enfin, dans ce domaine où l'innovation fait évoluer la médecine, nous pouvons observer une obsolescence des technologies numériques. Les chirurgiens-dentistes et chercheurs sont donc confrontés à un problème de publications qui sont presque dépassées au moment de leur édition. En effet, le taux de survie des implants posés avec un guide chirurgical ne peut être donné car, pour le moment, les études de long terme ne sont pas encore parues. Les études existantes portent sur 12 mois, il est donc difficile de conclure quant à la fiabilité de la méthode, car la période d'observation est trop courte.

Cette technique nécessite donc une formation de pointe, un investissement financier initial conséquent (caméra optique, usineuse, laboratoire de prothèse sur place, coût des licences des logiciels...) et une maîtrise parfaite de la méthode afin de nous apporter une performance sans faille. Malgré l'efficacité démontrée quant à la supériorité de la sécurité face à la méthode conventionnelle, il n'en reste pas moins important que le chirurgien-dentiste sache parfaitement poser un implant sans l'aide précieuse qu'un ordinateur peut apporter.

2.2.4 Étude de la précision du numérique

Le numérique en implantologie avance inexorablement ce qui apporte une aide précieuse aux chirurgiens-dentistes et leur permet de travailler de manière efficace et plus fiable. Mais peut-on réellement avoir une confiance aveugle en ces nouvelles technologies ? Le numérique est-il aussi précis que l'expérience du chirurgien ? Le gain de précision que nous vendent les entreprises développant des logiciels et des systèmes de chirurgie guidée est-il réellement avéré ?

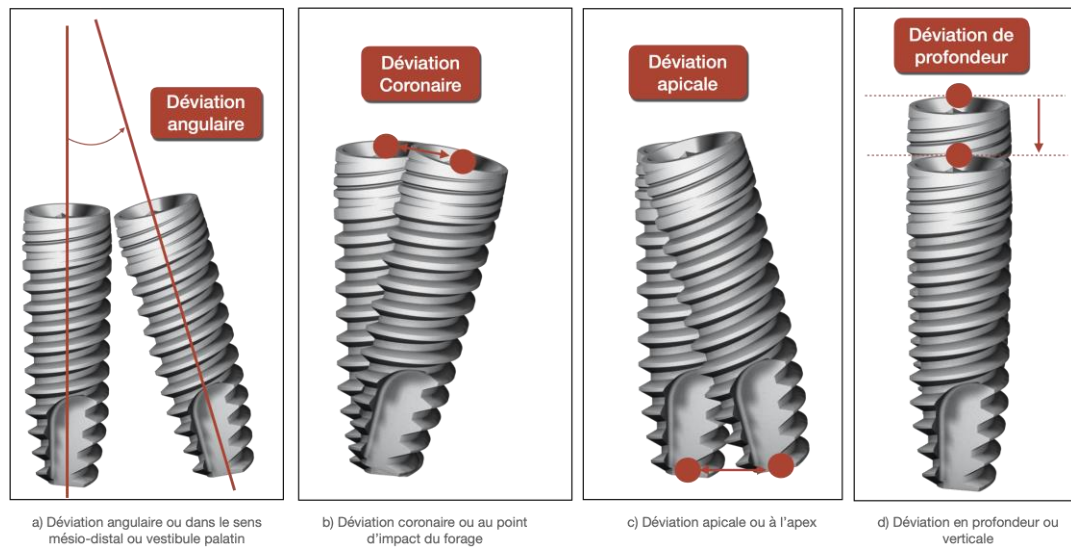
La précision du numérique est forcément discutable. La technique doit être adoptée avec précautions. En effet, nous avons pu observer des complications bénignes, notamment des déviations entre la simulation implantaire et la pose de l'implant à main levée (38). En outre, le guide chirurgical permet de réduire significativement les déviations par rapport à la planification : nous pouvons observer une différence de 0,9 mm (0-4,5) au niveau du col implantaire et de 0,7 mm (0-3,4) au niveau de l'apex lors de l'utilisation d'un guide. Pour une pose d'implants à main levée, la différence par rapport à la planification est d'environ 3 mm (0-7,0) pour le col et de 2,3 mm (0-7,7) à l'apex.

C'est pourquoi il est indispensable de rechercher la précision à toutes les étapes du protocole de fabrication du guide à savoir : l'examen radiologique, l'empreinte optique initiale, la planification numérique, la conception du guide, la mise en place du guide chirurgical, la mise en place de l'implant grâce aux cylindres de guidage et enfin la mise en place de la prothèse. Chaque étape représente un risque et diminue la précision de la chirurgie. Il est important de rappeler que le procédé de stéréolithographie ne peut être mis en cause, car le taux d'erreur technique ne dépasse pas le 0,1% (cf partie 2.1.4).

Nous pouvons déterminer l'écart entre la position réelle post-chirurgicale de l'implant et sa position théorique planifiée grâce à trois paramètres que nous pouvons évaluer :

- La déviation au point d'impact du forage (en mm) qui équivaut au niveau du col de l'implant
- La déviation à l'apex (en mm)
- L'angulation de l'implant (en degrés) qui correspond à la déviation dans le sens mésio-distal et vestibulo-palatin
- La déviation en profondeur (en mm)

Figure 25 : Type de déviation entre l'implant planifié et l'implant posé



Source : Auteur, 2021.

Sarment et al ont conclu que la pose d'implant avec un guide permet de réduire les déviations par rapport à la chirurgie conventionnelle. La distance moyenne entre l'implant prévu et la réalité était de 1,5 mm au niveau du col et de 2,1 mm à l'apex pour des implants placés à main levée. Les mêmes mesures ont été considérablement réduites à 0,9 mm et 1,0 mm lorsqu'un guide a été utilisé.

Les études d'Ozan et Schneider s'accordent sur le fait qu'il y a peu de différence lors de la planification selon le type d'appui du guide malgré le fait que le guide à appui dentaire soit, de manière unanime, le plus précis. En effet, peu importe le type d'appui choisis, il y a toujours une variation de position plus importante au niveau de l'apex (1,5 mm) qu'au col implantaire (1 mm), avec des écart-types très variables pour les deux valeurs. Sans l'utilisation d'un guide, la déviation au niveau du col de l'implant est de 1,5 mm et de 2,1 mm au niveau de l'apex (47). Effectivement, le praticien sait que son point de forage au niveau du col sera inévitablement dévié (48). Cette déviation est observée à chaque intervention, qu'elle soit manuelle ou guidée, nous ne pouvons malheureusement pas avoir un résultat parfait, le point d'impact et le niveau de l'apex seront toujours différents de la planification initiale, mais largement atténués grâce à l'utilisation de guide. En outre, la déviation angulaire est nettement atténuée avec l'utilisation d'un guide à appui dentaire.

De surcroît, le forage entièrement guidé (full guided) avec la mise en place de l'implant à travers le guide est plus précis que le forage seul. (38)

Tableau 4 : Différence moyenne de déviation entre un implant posé avec un guide « foret pilote » et un guide "complètement guidé »

	DéviatiOn moyenne coronaire (mm)	DéviatiOns moyenne apicale (mm)	DéviatiOn moyenne angulaire (°)
Complètement guidée	0,66 ± 0,26	0,96 ± 0,41	1,69 ° ± 0,94 °
Forage seul	1,10 ± 0,76	1,43 ± 0,70	2,57 ° ± 1,57 °

Source: Turbush et Turkyilmaz, « Accuracy of three different types of stereolithographic surgical guide in implant placement : an in vitro study », 2012.

Néanmoins, cette précision est elle-même dépendante de la précision des données d'acquisition de l'empreinte optique et du CBCT. Plusieurs études démontrent bien que les images obtenues grâce aux CBCT sont complètement exploitables. (49)

Il est vrai que de nombreuses complications per ou post-opératoires peuvent survenir de façon inattendue, et ce même dans des cas simples et bien planifiés. D'après les études de Schneider, le pourcentage moyen d'événements inattendus s'élève à 9,1% (50). C'est pourquoi l'utilisation de ces technologies requiert un niveau de formation élevé dû à la complexité inhérente à la technique (Azari, 2008).

Pour conclure, une revue de la littérature a clairement démontré que la chirurgie guidée a fait ses preuves. Elle a, depuis quelques années, atteint un niveau de précision au moins similaire si ce n'est supérieur à la chirurgie conventionnelle (51).

Les recherches futures devraient viser à augmenter le nombre d'études avec un recul clinique plus long, et à en améliorer les systèmes en termes de manipulation per-opératoire, de précision technologique et de complications prothétiques.

La chirurgie guidée, contrairement au discours des sociétés commerciales, demande une grande expérience du praticien tant sur le plan informatique que sur le plan chirurgical. Une maîtrise complète doit être acquise avant l'utilisation de ces techniques.

Cependant, pour l'omnipraticien pratiquant l'implantologie et qui souhaite utiliser la chirurgie guidée, quelques perspectives cliniques sont à prendre en compte pour apprécier les avantages et les inconvénients du concept : le positionnement idéal des implants est déterminé lors de la planification informatique et n'est plus que simplement transféré grâce au guide stéréolithographique. De plus, l'anxiété et le stress pré-opératoires sont largement réduits chez les patients, car ils comprennent le caractère mini-invasif de l'intervention chirurgicale.

Toutefois, il est difficile d'avoir une confiance aveugle envers les guides chirurgicaux, car il existe une grande divergence entre les résultats de la littérature sur le gain de précision que promet cette technique et la réalité clinique.

2.3 La prothèse provisoire

La phase de temporisation post-implantaire est une étape assez difficile à gérer pour les dentistes. Pourtant, c'est une étape inévitable lors du plan de traitement à la fois pour son rôle esthétique, mais aussi pour maintenir le parodonte marginal en place jusqu'à la couronne définitive. La mise en charge immédiate consiste donc à placer l'artifice prothétique juste après la pose de l'implant, en attendant les 4 à 6 mois d'ostéointégration préconisés dans le protocole initial de Brånemark. La prothèse provisoire a pour objectif de guider et de stabiliser l'architecture des tissus mous péri-implantaire avant la réalisation de la prothèse définitive. Elle prépare également le patient à l'intégration psychologique de sa future prothèse (52).

Nous avons aujourd'hui la possibilité de réaliser en une séance et parfois en amont de la chirurgie une couronne provisoire implanta portée grâce à la CFAO. Cette avancée technologique nous permet d'améliorer considérablement l'expérience patient, de gagner en précision et en reproductibilité (53). Cependant, elle nécessite de suivre un protocole rigoureux auquel cas la couronne ne pourra être mise en bouche. La restauration ainsi que le pilier doivent être réalisés avec des matériaux biocompatibles et aisément modifiables.

- Le pilier est choisi de sorte à pouvoir être vissé sur l'implant et éviter les excès de ciments néfastes à la cicatrisation. Ceci étant, une fois mis en place, il doit être dévissé le moins possible si ce n'est pas du tout, pour éviter de léser l'attache fibreuse qui provoquera une récession gingivale. Le matériau de choix pour le pilier provisoire est le titane car il présente une grande biocompatibilité avec les cellules épithéliales qui peuvent y adhérer plus aisément que sur un pilier en résine ou en plastique (peek) (54). La taille et le diamètre du pilier sont choisis en fonction du type d'implant posé et de son enfouissement. Une retouche de sa taille est possible sous irrigation et en dehors de la cavité buccale à l'aide d'un disque en carborundum monté sur pièce à main.
- Le matériau de choix pour les couronnes provisoires est la résine PMMA (PolyMethylMéthacrylate - Telio® CAD, Ivoclar). C'est une résine non chargée qui appartient au groupe des résines acryliques. Elle possède l'avantage d'être résistante à l'abrasion, à la rupture et à la flexion (130 ± 10 MPa)(55). En plus de son faible coût, elle prévient la formation de plaque dentaire ce qui permet d'éviter d'éventuelles péri-implantites précoces. Elle se présente sous la forme d'un bloc polymérisé avec six

différentes teintes permettant de l'usiner par soustraction lors d'un procédé de CFAO. Ces propriétés mécaniques et son état de surface biologiquement acceptable en font un matériau de choix pour les couronnes provisoires implanto-portées.

La future prothèse provisoire doit respecter certains critères pour répondre aux exigences biologiques. Une attention particulière doit être portée sur les embrasures et les points de contacts, et son état de surface doit être lisse et poli. De plus, il est essentiel de supprimer les contacts fonctionnels en OIM et en propulsion pour éviter toute contrainte durant la phase d'ostéointégration de l'implant.

Il est important de garder en tête que la mise en esthétique immédiate n'est réalisable que si la stabilité primaire est obtenue sinon le chirurgien-dentiste devra prévoir un autre moyen de temporisation (prothèse amovible transitoire, bridge collé, gouttière thermoformée...).

Il existe trois solutions différentes utilisant la CFAO pour une mise en esthétique immédiate. Nous allons étudier les possibilités de réalisation et la pertinence de l'utilisation de cet outil ainsi que les différents avantages et inconvénients de chaque solution. (56)

1. Fabrication pré-chirurgicale de la couronne à partir du wax up numérique, usinée et collée à une ti-base en amont, le tout transvissé sur l'implant.
2. Coque préformée usinée en amont avec ailette de repositionnement et ajustement per-opératoire du profil d'émergence au composite.
3. Empreinte optique de l'implant durant la chirurgie, wax up numérique, usinage et collage à la ti-base, le tout transvissée sur l'implant.

2.3.1 Fabrication pré-chirurgicale

La solution de fabrication de la prothèse provisoire avant la chirurgie apparaît comme un gain de temps important pour le chirurgien ainsi que pour le patient. En effet, la prothèse est conçue et fabriquée à l'avance, soit au sein du cabinet (CFAO directe) ou bien délocalisée dans un laboratoire de prothèse (CFAO semi-directe). Elle n'est plus que transvissée à l'implant une fois qu'il est mis en place.

La première étape, réalisée lors des premières consultations, est l'acquisition d'une empreinte optique de qualité en trois étapes : l'arcade d'intérêt, suivie de l'antagoniste et enfin l'enregistrement vestibulaire des deux arcades en OIM. Un fichier .STL est obtenu et fusionné avec le fichier .DICOM de l'enregistrement 3D des arcades. L'idée ici est de modéliser la future dent une fois la planification implantaire terminée. La forme idéale de la future couronne est alors créée. Si la dent actuelle est satisfaisante, elle sera utilisée comme modèle pour la couronne provisoire. Sinon le prothésiste ou le dentiste importera le wax up numérique pré-implantaire sur un logiciel comme *BlueskyPan*® où il pourra extraire virtuellement la dent présente et désigner la forme et la position idéale de la future

restauration, elle-même en accord avec la planification implantaire. Il est fréquent que la dent controlatérale soit copiée puis collée en symétrique pour obtenir un résultat plus naturel et harmonieux dans le sourire. Une fois la position idéale obtenue et les contacts antagonistes retirés, la dent sera usinée dans un bloc de PMMA (*Telio® CAD, Ivoclar*) pré-percé ou non, dont la teinte aura préalablement été choisie. La modélisation prévoit un orifice dans la couronne pour y assembler l'embase en titane préfabriqué (*TiBase®*). Les deux parties sont assemblées par un collage classique à l'aide d'un adhésif et d'un composite de collage. Le joint est minutieusement poli pour réduire l'accumulation de plaque qui pourrait entraîner une inflammation des tissus environnants.

Toute cette procédure s'effectue donc en amont de la chirurgie, mais surtout en fonction de la planification implantaire. Si la chirurgie se déroule comme prévu, le chirurgien-dentiste pourra visser la dent provisoire et effectuer de légers réglages en bouche. Cependant, en cas d'aléas chirurgicaux ou si de légères variations entre l'implant planifié et posé existent, la dent provisoire ne pourra être vissée et sera perdue. Cette technique n'offre donc aucune flexibilité durant la chirurgie et le praticien prend le risque de perdre le coût de la prothèse usinée en amont. Ce n'est donc pas une technique à privilégier du fait de son manque de précision.

2.3.2 Usinage pré-opératoire et ajustement per-opératoire

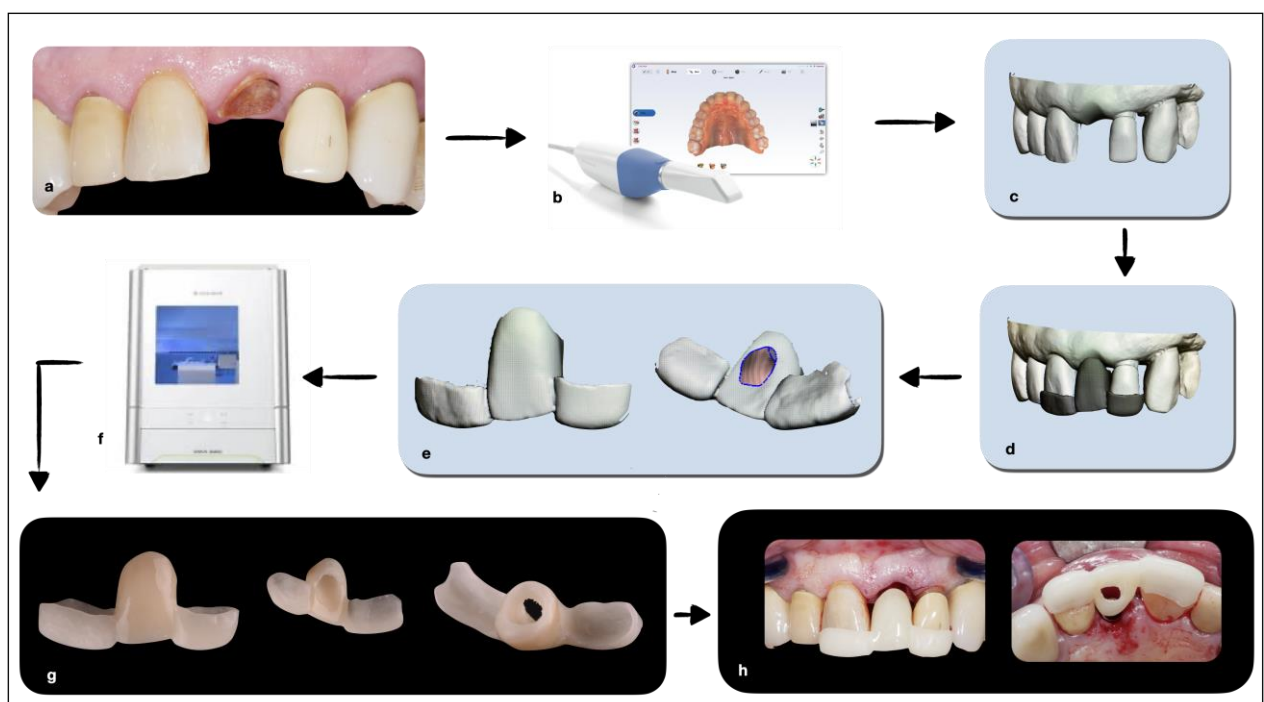
Lors de cette technique et en amont de la chirurgie, le prothésiste ou le dentiste se sert du wax up numérique de départ pour modéliser une coque de la dent provisoire sur le logiciel de planification Meshmixer®. Il crée un moule de la dent à remplacer et va y insérer deux ailettes sur les dents adjacentes qui vont permettre de gérer l'enfoncement corono-apical, la position vestibulo-linguale et ainsi d'éviter les mouvements de bascules. Une fois modélisée, il perfore la dent sur le logiciel pour y laisser passer le cylindre en titane du pilier provisoire. Le pilier provisoire est dit indexé lorsqu'il est anti-rotationnel à connexion conique. Cette solution sera privilégiée lorsque la technique sera complètement numérique. Ensuite, il envoie le fichier à l'usinage pour l'impression en 3D de la future restauration. Le matériau choisi est le PMMA car c'est un matériau qui est facilement usinable et qui présente une grande résistance mécanique (57). La restauration provisoire est donc conçue avant la chirurgie.

Lorsque l'implant est posé, le chirurgien visse le pilier provisoire à l'implant et positionne la dent grâce aux ailettes. Il y a donc un hiatus entre la coque et le pilier qui sera comblé par du composite. Le chirurgien ajoute du composite pour coller la couronne au pilier en veillant à ne pas obstruer le pas de vis. Une fois polymérisés, la couronne et le pilier sont dévissés et le profil transgingival est modelé progressivement par ajout de composite et fraisage régulier.

Les ailettes permettent donc de stabiliser la dent lorsque le composite durcit entre la dent et le pilier. Enfin, avant de positionner la prothèse provisoire en bouche, il est impératif de polir rigoureusement le composite ce qui permettra au chirurgien d'ajuster le profil d'émergence et de limiter au maximum la rétention de plaque à l'origine de défaut de cicatrisation. Lorsque les derniers réglages anatomiques semblent être optimisés, les ailettes sont découpées à l'aide d'une fraise, puis les extrémités sont polies une dernière fois. La prothèse peut enfin être vissée sur l'implant.

Cette méthode est relativement rapide, car la coque de la dent provisoire est prête en avance, il n'y a plus qu'à ajuster l'anatomie cervicale en bouche, qui est cette fois gérée par le chirurgien-dentiste et non par le prothésiste sur son logiciel. Nous observons une grande flexibilité quant au placement de l'implant, car nous ne sommes pas conditionnés au millimètre près (58). Cependant, le profil transgingival est relativement difficile à gérer en composite et des problèmes de polissage peuvent tout de même exister pouvant ainsi compromettre la cicatrisation.

Figure 26 : Étapes de conception d'une couronne provisoire usinée en amont de la chirurgie. Le rebasage en peropératoire n'a pas été iconographié car la stabilité primaire n'était pas suffisante pour une mise en esthétique immédiate



a) Vue vestibulaire de la situation initiale b) Empreinte optique de la situation initiale c) Vue vestibulaire de la situation initiale sur le logiciel Meshmixer® d) Conception du projet prothétique sur 21 avec ailettes sur 11 et 22 e) Vue vestibulaire et palatine du bridge à ailettes seule f) Usinage de la couronne provisoire g) Photo du bridge à ailette après usinage h) Vue vestibulaire et palatine du bridge en bouche avant rebasage

Source : Dr Laccourreye et Dr Bayet, 2021.

2.3.3 Empreinte optique per-opératoire

La mise en esthétique immédiate par CFAO directe consiste en l'enregistrement de la position implantaire ainsi que de l'environnement gingival par une caméra intra-buccale juste après la chirurgie ; suivie de la conception de la prothèse provisoire par ordinateur et enfin de son usinage à partir des données numériques obtenues. Concrètement, une fois l'implant positionné et la chirurgie terminée, le dentiste utilise des corps de scannage (scanbodies), qui sont des transferts numériques. Ils permettent de transmettre la position de l'implant dans les trois plans de l'espace au laboratoire de prothèse ainsi que son rapport avec les dents adjacentes et antagonistes. Ils sont vissés à l'implant et la régénération osseuse est effectuée autour de ceux-ci. Pour prendre l'empreinte, il suffit de découper l'empreinte initiale dans la zone de la dent à extraire et de réenregistrer la nouvelle zone avec le scan body. Elle sera directement matchée avec l'empreinte initiale. Le temps de l'empreinte en post-chirurgical est donc très rapide car la zone à numériser est de faible étendue et l'antagoniste ainsi que le mordue ont déjà été enregistrés. Il est juste nécessaire d'enregistrer la zone du site opératoire ainsi que les faces proximales des dents adjacentes préalablement masquée par la dent à extraire.

De plus, ne pas utiliser de matériaux d'empreinte conventionnelle au contact de la greffe présente un réel avantage en termes d'asepsie car ils ne sont pas stériles.

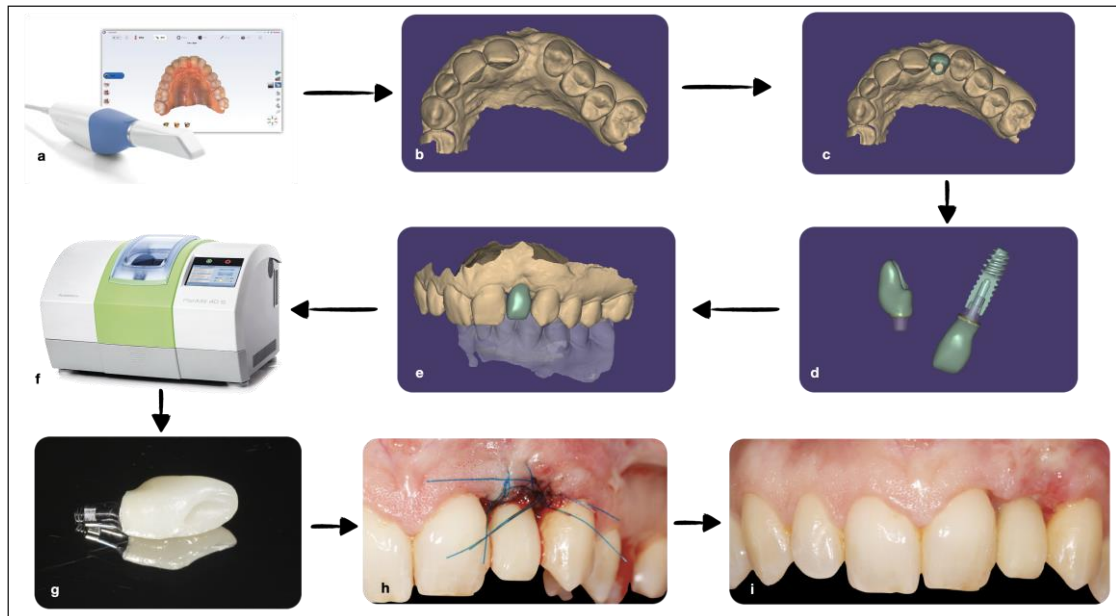
Ce fichier .STL est ensuite immédiatement envoyé chez le prothésiste qui va concevoir et usiner la restauration provisoire transvissée et l'adapter au pilier transgingival. Il est également possible qu'elle soit réalisée entièrement au cabinet par le dentiste, en chairside, si le cabinet dispose d'un CEREC® ou d'une Planmeca®. Dans ce cas-là, c'est le dentiste qui a la main sur la partie transgingivale. Le profil d'émergence est capital dans une restauration provisoire implantaire car c'est elle qui guidera la cicatrisation des tissus péri-implantaires. Ici, la partie transgingivale est parfaitement polie car elle est usinée, une procédure qui est plus compliquée à réaliser en bouche avec du composite. Une fois la couronne usinée dans le bloc de résine, elle est collée à l'embase puis le joint est rigoureusement poli pour supprimer toute surface rugueuse qui pourrait nuire à la cicatrisation en retenant la plaque et être à l'origine d'une inflammation voire même d'une péri-implantite. Elle est enfin transvissée d'un bloc à l'implant.

Nous avons une couronne provisoire faite à 100% en CFAO directe et préconçue sur l'implant qui vient d'être posé en bouche.

L'intégralité des étapes sont faites en temps réel, ce qui diminue le stress pour le praticien si la position finale de l'implant n'est pas exactement celle prévue lors de la planification. Pour le patient, le temps d'attente est légèrement plus long. Cela implique qu'il patiente environ 1h pour repartir avec sa prothèse fixée en bouche. La vis de cicatrisation est donc remise en bouche durant l'usinage pour éviter que les tissus mous ne s'affaissent. Cette méthode, très efficace, n'est qu'une question d'organisation

dans le planning entre prothésiste, dentiste et patient mais nécessite tout de même un laboratoire de prothèse sur place ou des connaissances poussées dans les logiciels de programmation pour le chirurgien.

Figure 27 : Étapes de conception d'une couronne provisoire peropératoire.



- a) Empreinte optique de la situation initiale b) Vue vestibulaire de la situation initiale sur le logiciel Exocad® c) Conception du projet prothétique sur 22 d) Modélisation de la couronne provisoire + pilier avec et sans l'implant e) Mise en sous-occlusion de la couronne provisoire avec l'antagoniste f) Usinage de la couronne provisoire g) Couronne provisoire usinée en PMMA assemblée à la TiBase® en titane h) Vue vestibulaire de la couronne transvissée en bouche juste après la chirurgie i) Vue vestibulaire de la couronne transvissée en bouche à J+10

Source : Dr Ghoul, Prothésiste Chloé Régnier Vigouroux (Inventeeth), 2021.

3. Application du flux numérique pour une mise en esthétique immédiate en implantologie

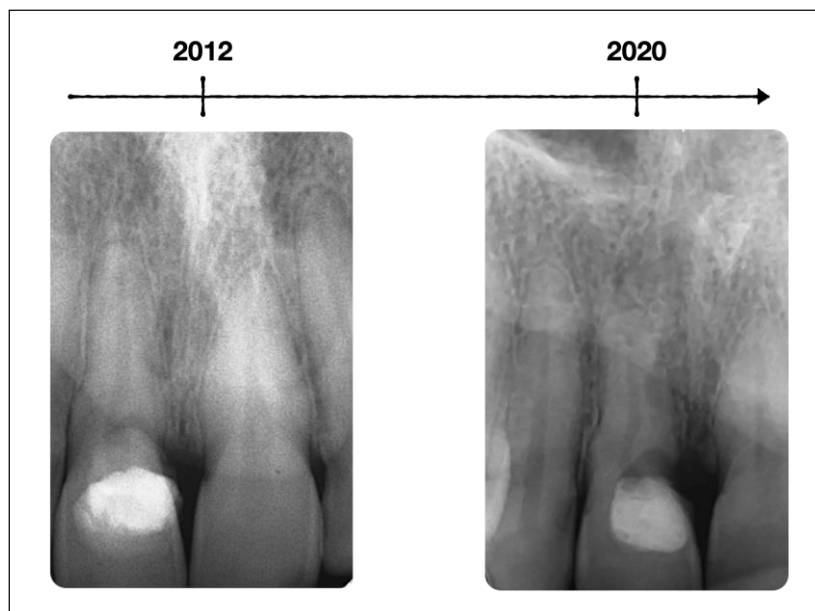
3.1 Anamnèse

Madame D., âgée de 40 ans, en bonne santé générale, non fumeuse, est adressée par son praticien pour l'avulsion et le remplacement de sa dent 11. La patiente l'a initialement consulté pour "une inflammation persistante sur une incisive".

En 2012, un diagnostic de résorption cervicale externe, d'étiologie inconnue (traumatique ?) avait été établi par son dentiste traitant. Une restauration au verre ionomère avait alors été réalisée au niveau cervical de la 11.

En 2021, son praticien a objectivé une évolution apicale de la résorption cervicale posant l'indication de l'extraction de la 11.

Figure 28 : Évolution de la résorption cervicale sur des radios rétros alvéolaires datant de 2012 et de 2021



Source : Dr Ghoul, 2021.

3.2 Analyse de la situation clinique et choix thérapeutique

À l'entretien pré-clinique, la patiente indique être anxieuse vis-à-vis du projet thérapeutique. Elle ne souhaite pas rester édentée et refuse catégoriquement une solution amovible d'usage ni même de temporisation.

3.2.1 Données cliniques :

A l'examen clinique :

- Sur le plan parodontal, la patiente présente une gingivite bactérienne généralisée modérée à localement sévère au niveau de 11, corrélé à un indice de plaque importante, dans un contexte de morphotype parodontal mixte (type II/III de la classification de Maynard et Wilson (59)). Le sondage parodontal indique la présence de poches supérieures à 3 mm associées à des saignements en vestibulaire de 11.
- Sur le plan dentaire, la 11 répond positivement au test de sensibilité sans rémanence. La percussion est négative, en revanche la palpation est douloureuse.
- Sur le plan occluso-fonctionnel, la patiente est en classe II division 2 d'Angle (60) et présente donc une supraclusion associée à une diminution du surplomb.
- L'analyse esthétique du sourire montre un non-alignement des collets résultant principalement de l'inflammation gingivale sévère au niveau de la 11. De plus, 11 et 21 présentent une asymétrie de position et de forme.

Figure 29 : Vue endobuccale de l'état initial en occlusion



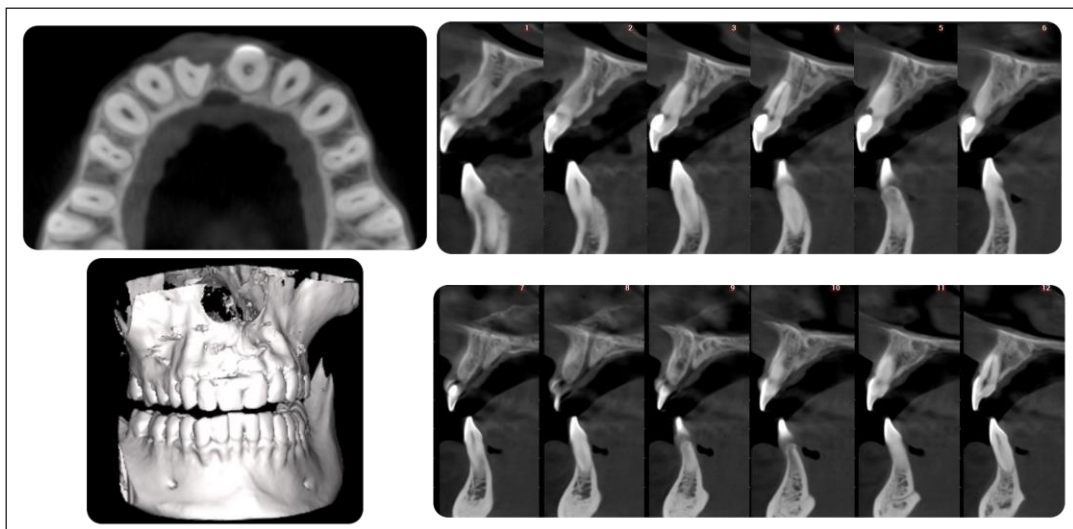
Source : Dr Ghoul, 2021.

3.2.2 Données radiographiques

A l'examen radiographique :

- Le cliché rétro-alvéolaire réalisé en 2021 confirme une évolution de la résorption cervicale qui atteint le tiers supérieur de la racine. Aucune alvéolyse n'est associée à cette résorption cervicale.
- En seconde intention, une imagerie 3D est réalisée. Le cone beam révèle une perte osseuse de classe II de Cawood et Howell (12). Autrement dit, une fine corticale vestibulaire est persistante.
- L'analyse des coupes axiales indique que la résorption cervicale n'atteint pas le réseau endo-canaire. De plus, un volume osseux suffisant est disponible dans la zone apicale.

Figure 30 : CBCT de la situation initiale sur le logiciel Romexis®



Source : Dr Ghoul, 2021.

3.2.3 Diagnostic et options thérapeutiques

Les éléments issus de l'anamnèse, de l'examen clinique et des examens radiographiques confirment le diagnostic de résorption cervicale au niveau de 11. L'étendue de cette résorption indique l'extraction de cette dent. Compte-tenu du contexte clinique favorable, l'option thérapeutique retenue est l'extraction-implantation immédiate.

De plus, pour répondre aux doléances de la patiente, une mise en esthétique immédiate sera réalisée à l'issue de la chirurgie implantaire.

3.3 Thérapeutique parodontale initiale

Avant d'entreprendre la phase chirurgicale, une motivation à l'hygiène orale et un assainissement parodontal sont des pré-requis indispensables afin de réduire la charge bactérienne et de maîtriser l'inflammation gingivale.

A l'issue de cette thérapeutique initiale, une séance de réévaluation a été programmée avec la patiente à 6 semaines. Lors de cette séance, il a pu être objectivé une amélioration significative de l'indice de plaque et de l'indice gingival. Le parodonte étant assaini, l'étude pré-implantaire peut être initiée.

Figure 31 : Vue exobuccale en occlusion à l'issue de la thérapeutique parodontale initiale



Source : Dr Ghoul, 2021.

3.4 Bilan pré-implantaire

L'objectif du bilan pré-implantaire est d'évaluer la faisabilité du traitement implantaire chirurgical et prothétique et de préciser les modalités de la chronologie thérapeutique.

Le bilan pré-implantaire comprend :

- Un bilan photographique endo et exo-buccal
- Une empreinte optique de la situation initiale des deux arcades et de l'occlusion (caméra Planmeca® Emerald S)
- Une prise de teinte (spectromètre Vita Easyshade®)
- Une analyse du volume osseux et des obstacles anatomiques sur le CBCT

- Le recueil du consentement éclairé
- La prescription d'une ordonnance pré-opératoire, d'une antibiothérapie prophylactique, d'antalgiques et d'antiseptiques locaux.

A l'issue de cette étape, la planification implantaire a pu être réalisée. Elle est guidée d'une part par les contraintes anatomiques du site opératoire ainsi que par le projet prothétique défini avec la patiente.

Figure 32 : Vue exobuccale centrée sur le secteur incisivo-canin maxillaire

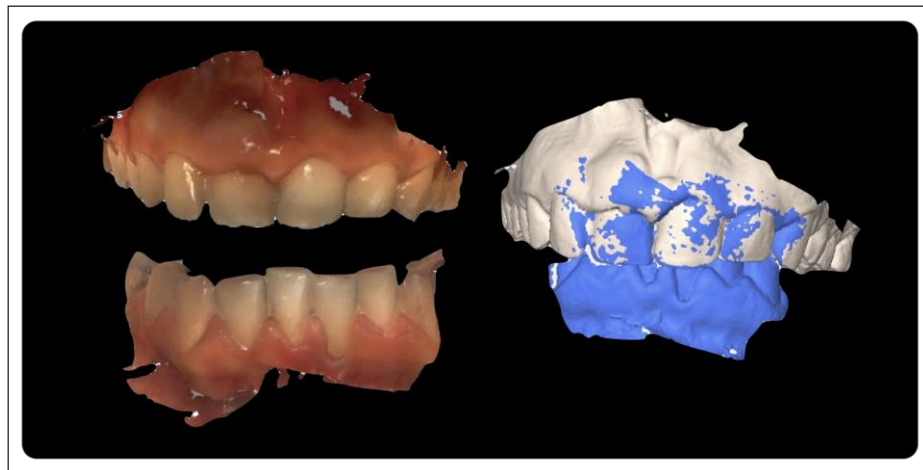


Source : Dr Ghoul, 2021.

3.5 Planification implantaire numérique

Le projet prothétique est l'élément central de la thérapeutique implantaire. La première étape de la planification numérique est d'élaborer un wax up numérique qui guidera la chirurgie implantaire et le positionnement de l'implant. Pour notre situation clinique, la partie coronaire de la 11 est intacte, elle fait donc office de wax up pour la planification implantaire. Pour cela, le fichier STL issu de l'empreinte optique de l'arcade maxillaire est fusionné au CBCT dans le logiciel Romexis® en faisant correspondre 3 points remarquables.

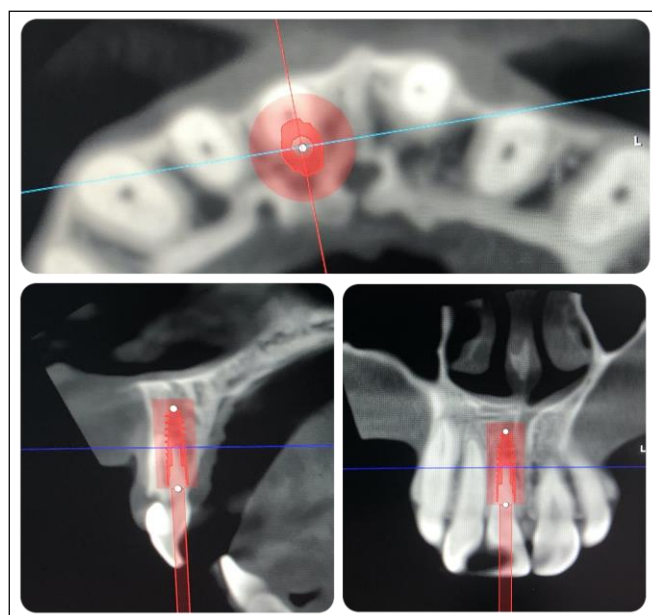
Figure 33 : Empreinte numérique du maxillaire (a) de la mandibule (b) et de l'occlusion (c)



Source : Dr Ghoul, 2021.

Les caractéristiques de l'implant (longueur et diamètre) sont déterminées selon le volume osseux disponible. Une fois ces mesures réalisées, le praticien peut choisir les caractéristiques de l'implant dans la bibliothèque du logiciel et le positionner dans les trois plans de l'espace. L'objectif est de trouver un positionnement optimal de l'implant, en adéquation avec le projet prothétique pré-établi. Pour notre situation clinique, l'implant choisi est un implant Anthogyr® Axiom Bone Level PX de longueur 12 mm et de diamètre 3,4 mm. Le design de cet implant (spires marquées), sa longueur (ancrage au-delà de l'apex) et son positionnement palatin sont des caractéristiques favorables pour un protocole d'extraction-implantation immédiate.

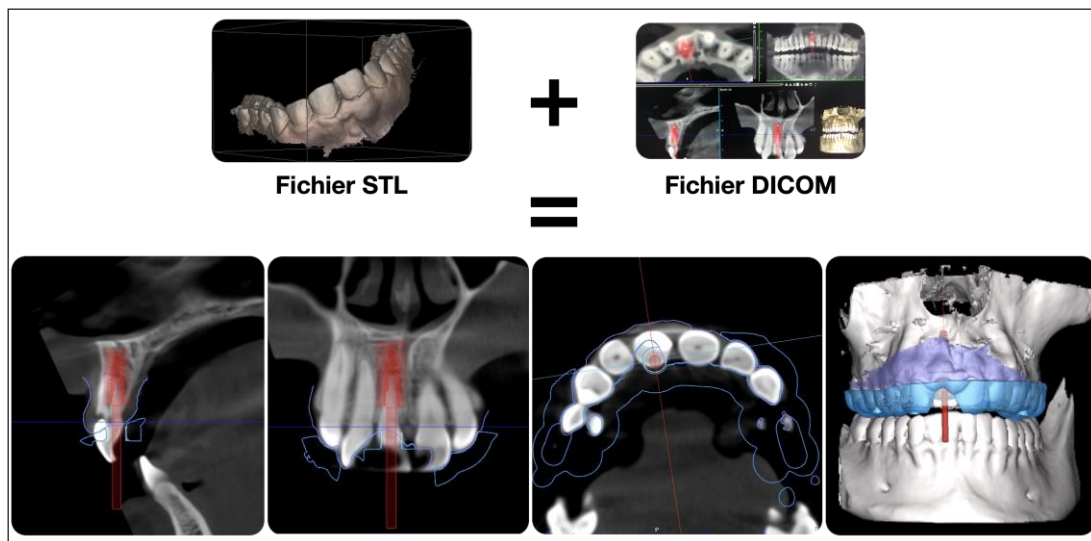
Figure 34 : Planification implantaire sur le logiciel Romexis® dans les trois plans de l'espace



Source : Dr Ghoul, 2021.

Une fois la planification implantaire finalisée, un guide chirurgical numérique de type "foret pilote" à appui dentaire a été modélisé sur ce même logiciel. La largeur de la douille ainsi que la distance avec la crête sont prédéfinies dans la bibliothèque du logiciel selon le système implantaire choisi. Le guide présente des fenêtres d'ouvertures sur les dents adjacentes à l'implant afin de contrôler son enfoncement et son bon positionnement. Une fois modélisé, le guide est ensuite imprimé à l'aide d'une imprimante 3D Formlabs 3® par la technique de stéréolithographie.

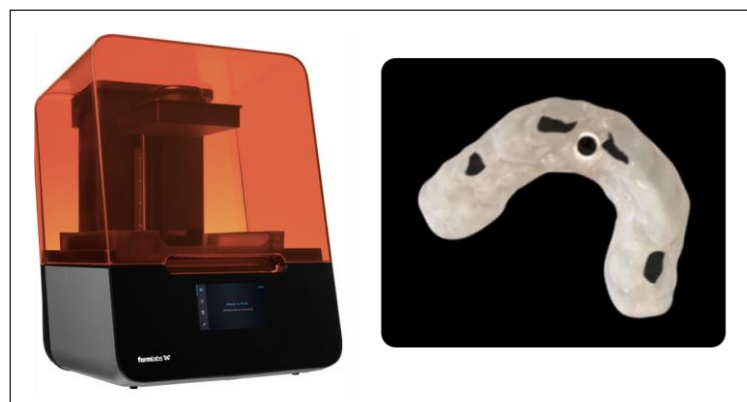
Figure 35 : Fusion des fichiers STL et DICOM pour la conception du guide chirurgical sur le logiciel Romexis®



Source : Dr Ghoul, 2021.

Une fois imprimé, une douille métallique pour foret pilote est clipsée dans le guide. Ce dernier est alors stérilisé en cycle court.

Figure 36 : Impression stéréolithographique du guide chirurgical grâce à l'imprimante 3D Formlabs®



Source : Auteur, 2021.

3.6 Le temps par temps chirurgical

3.6.1 L'extraction

L'extraction de le 11 est réalisée de façon la plus atraumatique possible afin de préserver au maximum les tissus osseux et gingivaux, et plus particulièrement la corticale vestibulaire. La luxation a été réalisée à l'aide d'un davier incisif. D'autres instruments peuvent être utilisés comme un syndesmotome de Bernard, des élévateurs à lame souples ou des periotomes pour les fragments radiculaires résiduels. Lors de la mobilisation, des mouvements mésio-distaux sont à privilégier pour éviter toute pression sur la corticale vestibulaire.

Ici un protocole sans lambeau a été réalisé pour préserver l'architecture gingivale et maintenir la vascularisation périostée de la table osseuse vestibulaire.

Figure 37 : Vue vestibulaire de l'alvéole post-extractionnelle



Source : Dr Ghoul, 2021.

À l'issue de l'avulsion, l'alvéole est curetée minutieusement à l'aide de curettes de Lucas afin d'éliminer les fibres résiduelles du ligament parodontal et le tissu de granulation.

Le curetage manuel peut être complété à l'aide d'une fraise boule à os qui favorise le saignement de l'alvéole. Enfin, l'alvéole est rincée à l'aide d'une solution antiseptique (Polyvidone iodée - Bétadine®).

À l'issue du curetage il est primordial de confirmer l'intégrité de la corticale vestibulaire à l'aide d'une sonde.

Figure 38 : Dent 11 extraite avec une résorption externe au niveau cervical

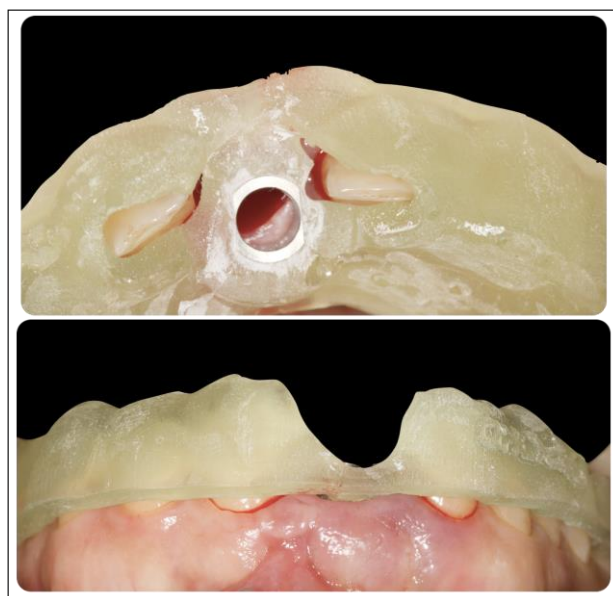


Source : Dr Ghoul, 2021.

3.6.2 La mise en place de l'implant

Le guide chirurgical à appui dentaire est positionné en bouche. Son enfoncement est validé grâce aux fenêtres de repositionnement. Le premier forage est alors réalisé au travers du guide à l'aide d'un foret pilote de 2 mm. Après un contrôle radiographique, la séquence de forage est poursuivie à main levée. L'ostéotomie est réalisée à l'aide d'une séquence de forets avec un diamètre croissant. Le dernier foret de la séquence n'a pas été utilisé. Le sous forage permet d'optimiser la stabilité primaire de l'implant.

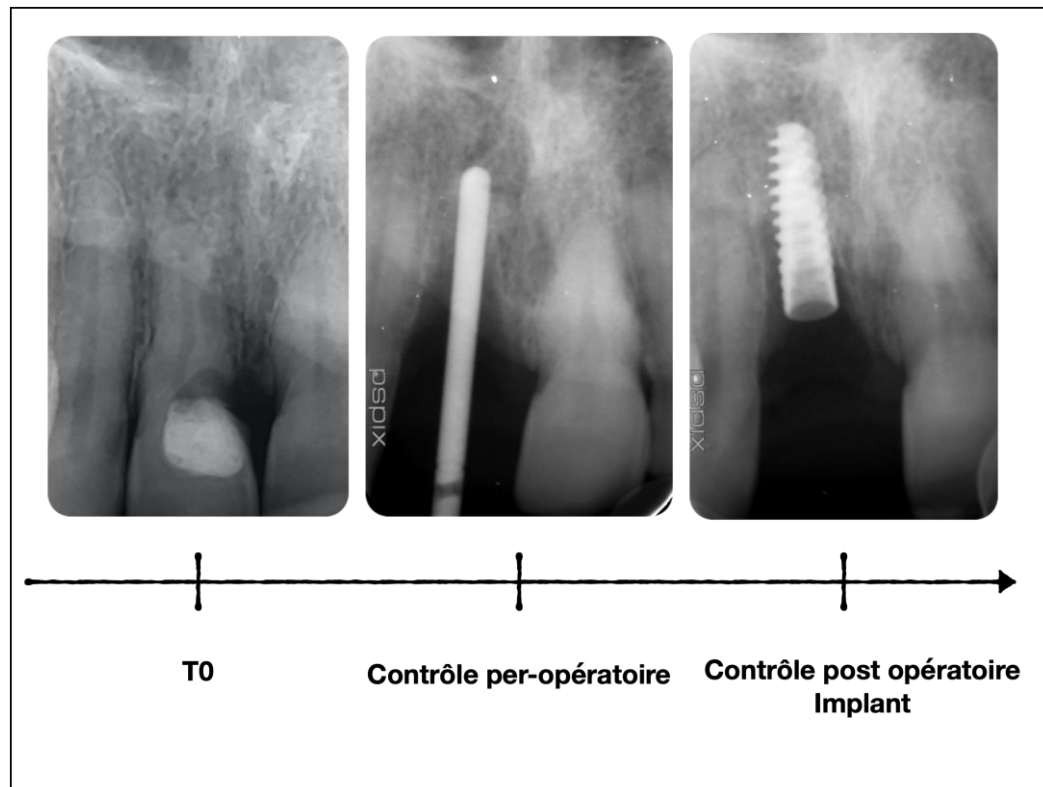
Figure 39 : Positionnement du guide chirurgical en bouche avec fenêtres de positionnement sur 12 et 21



Source : Dr Ghoul, 2021.

L'implant est mis en place en accord avec la planification implantaire (positionnement palatin avec émergence cingulaire) avec un couple d'insertion de 35N/cm. Cette valeur nous indique une bonne stabilité primaire de l'implant autorisant par la suite un protocole de mise en esthétique immédiate. Après la mise en place de l'implant, une rétro-alvéolaire de contrôle est réalisée afin de vérifier sa position intra-osseuse.

Figure 40 : Rétro-alvéolaire du temps par temps opératoire

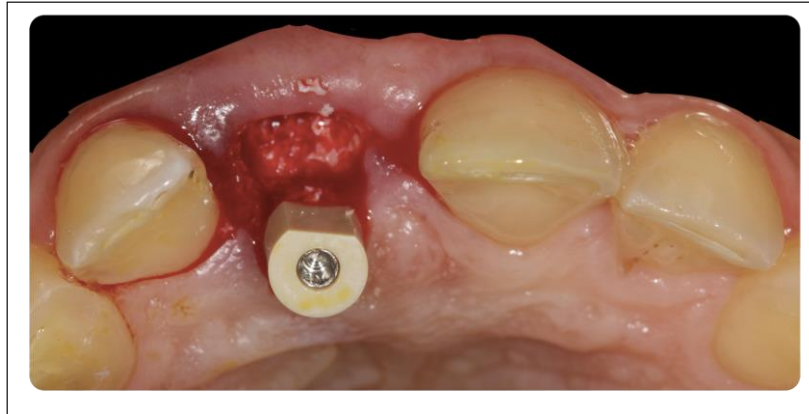


Source : Dr Ghoul, 2021.

3.6.3 Le comblement alvéolaire

Le positionnement palatin de l'implant crée un "gap" (> 2 mm) entre l'implant et la table osseuse vestibulaire. La mise en place d'un biomatériau au niveau de ce hiatus permet de limiter la perte volumique en rapport avec l'effondrement de l'os fasciculaire post extractionnel. Pour notre cas clinique, un comblement osseux à l'aide d'un substitut peu résorbable d'origine bovine (Bio-Oss, Geistlich®) est réalisé au niveau de ce hiatus (61).

Figure 41 : Position de l'implant en bouche avec un scan post vissé. L'espace résiduel vestibulaire est comblé par du Bio-Oss®



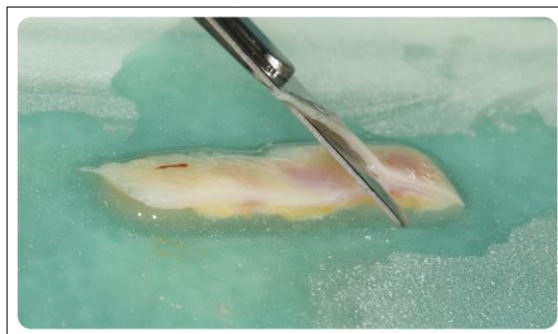
Source : Dr Ghoul, 2021.

3.6.4 La greffe de conjonctif enfoui

Le recours à une greffe de conjonctif dans un protocole d'extraction implantation immédiate permet d'améliorer l'environnement mucogingival (62) et d'obtenir une compensation volumique comparable à une régénération osseuse guidée (63).

Ainsi, un greffon de conjonctif enfoui est positionné en vestibulaire de notre site implantaire pour permettre d'une part de maintenir le biomatériau et d'autre part de compenser la perte tissulaire post extractionnel. Un prélèvement épithélio-conjonctif a été réalisé au palais en regard de 14/15. Le prélèvement est désépithélialisé en exobuccal et est mis en place, en regard de 11 par une technique de tunnelisation. Il est stabilisé et suturé au lambeau à l'aide de deux points en U au fil résorbable 6/0 monofilament. Là encore, le choix du tunnel permet de préserver l'environnement gingival avec des papilles intactes. L'association d'un greffon conjonctif et d'une xénogreffe dans le cadre d'un protocole extraction implantation immédiate permet d'obtenir une augmentation significative du "Pink Esthetic Score" (PES) (64).

Figure 42 : Désépithélialisation du greffon à la lame 15



Source : Dr Ghoul, 2021.

Figure 43 : a) Positionnement du greffon désépithélialisé au niveau de la gencive marginale de
11 b) Suture du greffon mis en place par la technique de tunnelisation



Source : Dr Ghoul, 2021.

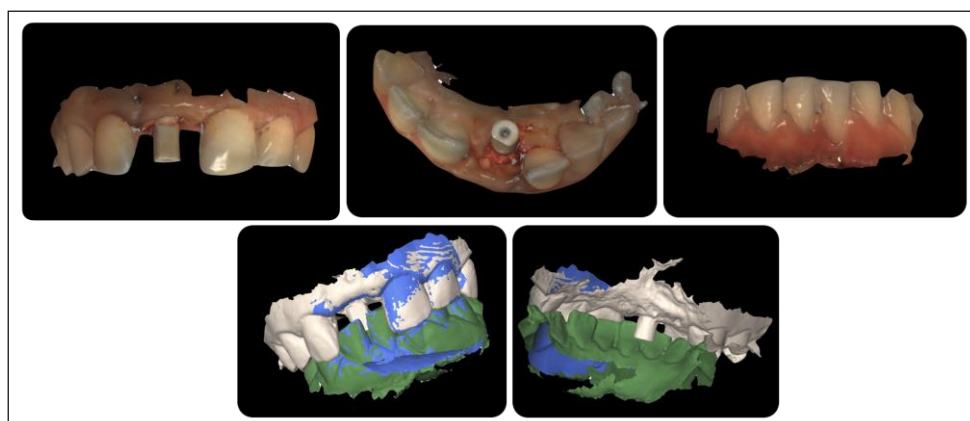
3.6.5 Mise en esthétique immédiate

L'implant a été mis en place avec une stabilité primaire de 35 N/cm, un positionnement palatin et une émergence cingulaire (à distance de la table vestibulaire, en affleurant les bords libres des dents collatérales). Ces conditions permettent d'envisager la réalisation d'une couronne provisoire immédiate transvissée unitaire hybride qui associe une embase en alliage Titane et une couronne en polyméthacrylate de méthyle (PMMA).

Une série d'empreinte optique est alors réalisés :

- De l'implant seul pour enregistrer l'environnement muco gingivale péri implantaire
- De l'implant avec le scanbody transvissé
- Du secteur antagoniste
- De l'occlusion.

Figure 44 : Fichier STL issue de l’empreinte optique après la mise en place de l’implant + ScanPost + ScanBody

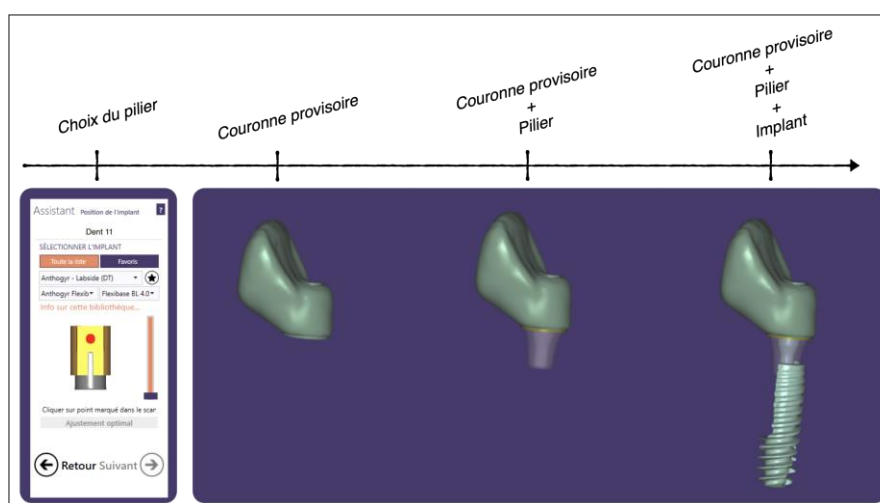


Source : Dr Ghoul, 2021.

A l’issue des empreintes, la couronne provisoire est modélisée à l’aide du logiciel Exocad®. Au préalable, l’embase en titane préfabriquée (TiBase®) est sélectionnée selon les références de l’implant (Anthogyr® Axiom Bone Level PX 3,4 x 12 mm). Pour chaque type d’implant, il existe différentes hauteurs et angulations. La hauteur de la TiBase® est choisie selon le degré d’enfouissement de l’implant.

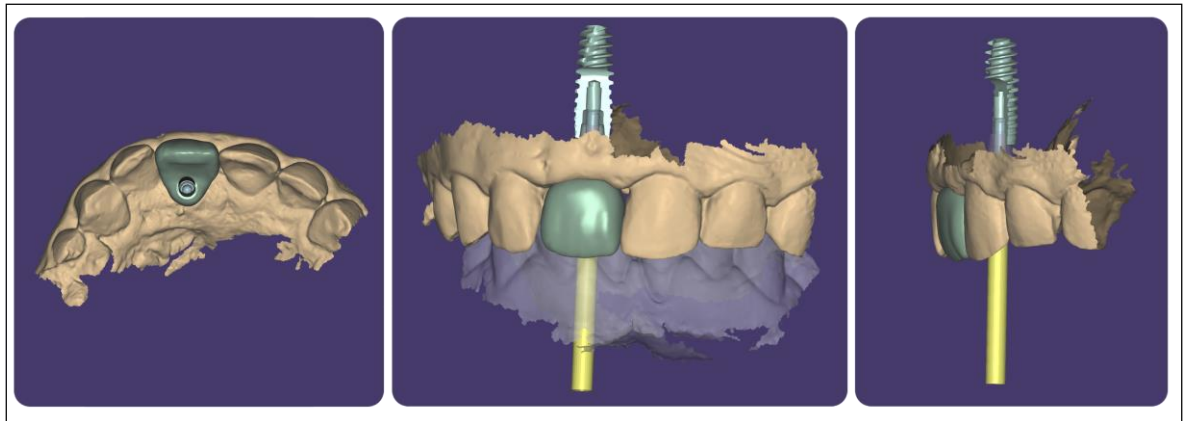
La modélisation de la couronne provisoire est initiée en réalisant une “copie miroir” de la dent controlatérale. Puis la forme est modifiée selon le positionnement de l’implant. Les points de contacts et le profil d’émergence sont également ajustés virtuellement. De plus, tous les contacts avec les dents antagonistes sont supprimés pour que la couronne provisoire soit en inocclusion totale en statique et dynamique.

Figure 45 : Choix du pilier et modélisation de la couronne provisoire sur le logiciel ExoCad®



Source : Dr Ghoul, Prothésiste Chloé Régner Vigouroux (Inventeeth), 2021.

Figure 46 : Ajustement des points de contacts et de l'occlusion de la couronne provisoire sur le logiciel ExoCad®
 Vue occlusal b) Vue frontale avec l'antagoniste c) Vue sagittale

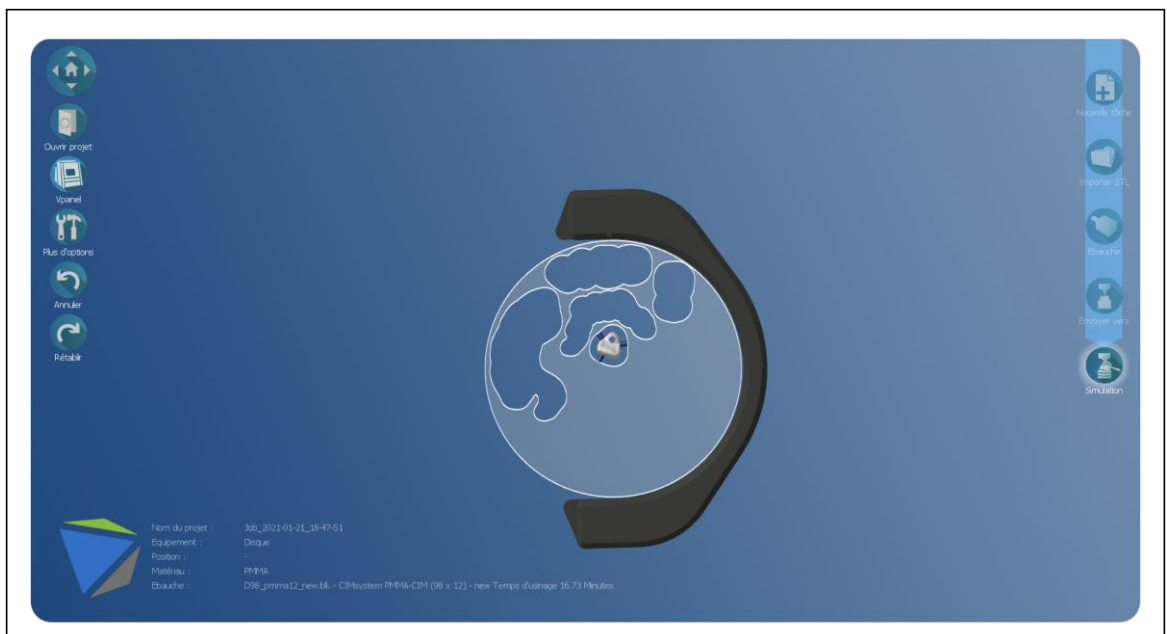


Source : Dr Ghoul, Prothésiste Chloé Régnier Vigouroux (Inventeeth), 2021.

Une fois la couronne provisoire modélisée, le fichier STL correspondant est envoyé au logiciel de Worknc (Millbox®) pour l'usinage. Le matériau sélectionné pour la réalisation de la couronne provisoire est le PMMA reconnu notamment pour ses propriétés esthétiques, physiques et mécaniques qui en font le matériau le plus utilisé en CFAO.

L'usinage (DGShape®) de la couronne provisoire est lancé après la mise en place du disque de PMMA à la teinte sélectionnée. Le temps d'usinage est d'environ 15 minutes.

Figure 47 : Prévisualisation sur le logiciel Millbox® de l'usinage de la couronne provisoire dans le bloc de PMMA (Telio® CAD, Ivoclar) teinte A2



Source : Dr Ghoul, Prothésiste Chloé Régnier Vigouroux (Inventeeth), 2021.

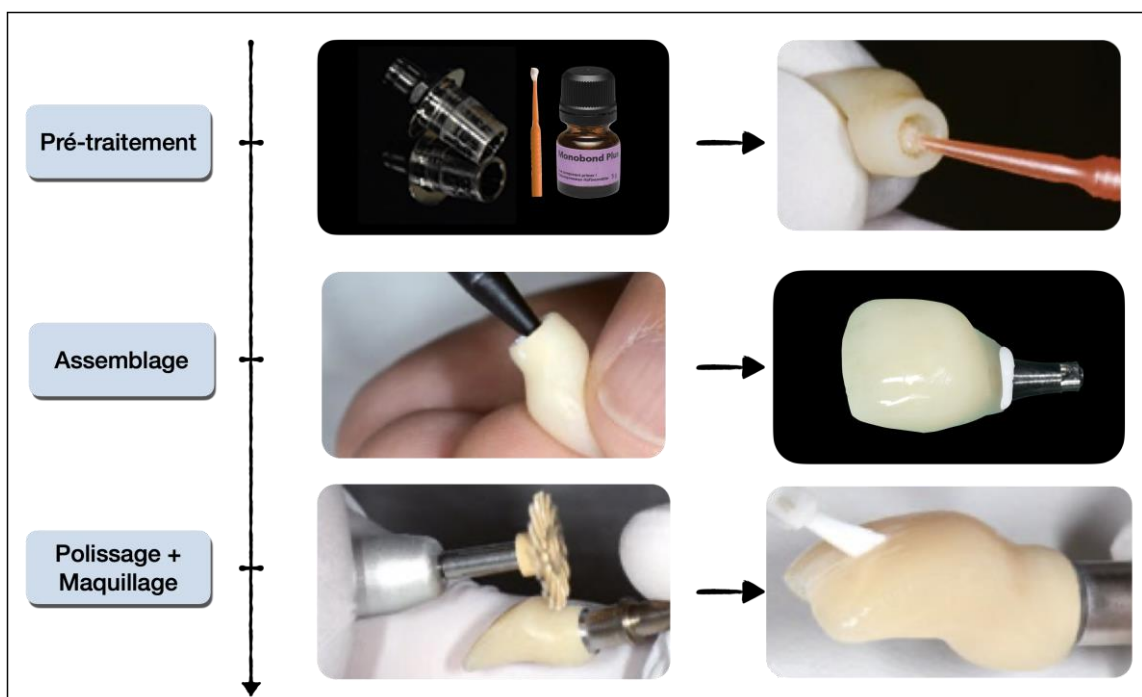
Une fois la couronne provisoire usinée, elle est désolidarisée de son disque et est polie manuellement. Avant l'assemblage, l'embase est légèrement sablée à l'oxyde d'aluminium (50 microns) et prétraitée au silane (Monobond® Plus, Ivoclar Vivadent). De même, un agent de couplage spécifique au PMMA est appliqué dans l'intrados de la couronne provisoire (SR Connect®, Ivoclar Vivadent).

La couronne et l'embase sont assemblés à l'aide d'un composite de collage autopolymérisant Multilink® Hybrid Abutment (Ivoclar Vivadent - teinte HO 0). Une fois les excès retirés, les deux parties sont maintenues sous pression par une pince à ressort pendant toute la durée de la polymérisation (environ une dizaine de minutes).

La qualité du joint de collage entre la restauration coronaire et l'embase est un élément essentiel pour le maintien de la santé péri-implantaire. Il doit être le plus fin possible (< 100 µm). Le joint de collage est alors poli minutieusement pour retirer les excès de colle résiduels.

Il s'ensuit le maquillage de la couronne provisoire. Cette étape est grandement facilitée par la présence de la patiente au fauteuil afin de contrôler "en direct" l'intégration esthétique de la restauration. La photopolymérisation finale de la couche de glaçure est réalisée sous gel de glycérine pour limiter au maximum la formation d'une couche d'inhibition par contact avec l'oxygène ambiant(65).

Figure 48 : Étape de traitement, d'assemblage, de polissage et de maquillage de la couronne provisoire en PMMA avec la TiBase® en titane



Source : Auteur, 2021.

Figure 49 : Couronne provisoire en PMMA assemblée à la TiBase® en titane



Source : Dr Ghoul, 2021.

La couronne provisoire est vissée à l'implant et torquée à 15 N/cm. Une rétro alvéolaire de contrôle est réalisée afin de s'assurer de son parfait positionnement. L'occlusion est également contrôlée pour s'assurer de l'absence de contact statique et dynamique risquant de compromettre l'ostéointégration. Le puits de vissage est protégé par du polytétrafluoroéthylène (Téflon®) ainsi que du composite photopolymérisé.

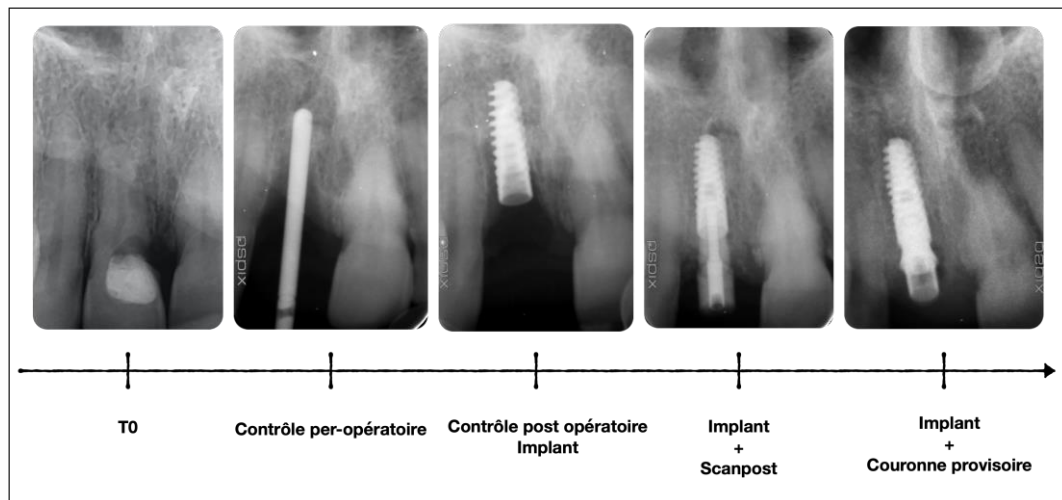
La patiente a reçu des conseils post opératoires classiques en plus des instructions strictes de ne pas solliciter la couronne provisoire pendant la durée d'ostéointégration.

Figure 50 : Vue vestibulaire de la couronne provisoire transvissée en bouche à la fin de la séance comparée à la situation pré opératoire



Source : Dr Ghoul, 2021.

Figure 51 : Rétro alvéolaire du temps par temps opératoire



Source : Dr Ghoul, 2021.

3.7 Contrôle post-opératoire

La patiente est revue dix jours après l'intervention pour contrôler la cicatrisation. Il est observé une bonne cicatrisation des tissus mous avec une bonne intégration de la restauration provisoire.

3.8 Contrôle de l'ostéointégration à 4 mois

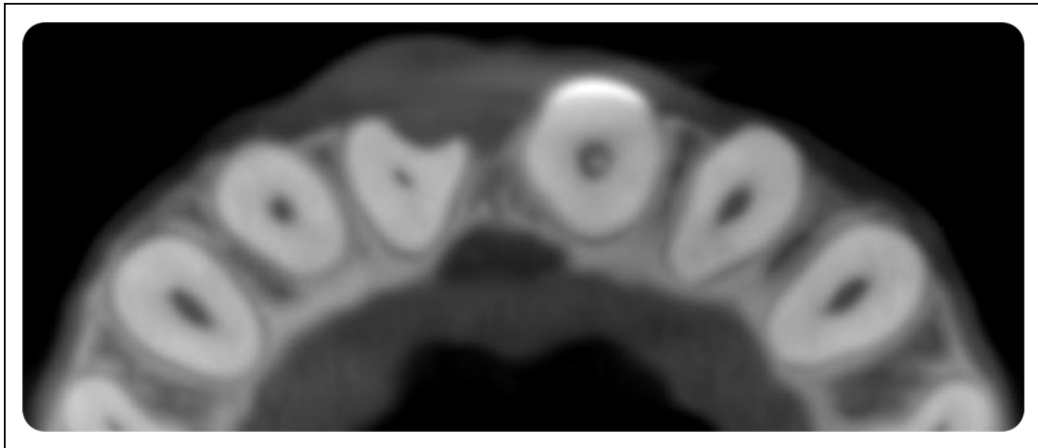
- Contrôle clinique et radiographique
- Dévissage de la couronne provisoire
- Constatation de la préservation volumique tissulaire dans le sens horizontal et verticale ainsi que papillaire
- Programmation de la réalisation de la couronne d'usage

3.9 Discussion

Cette partie a pour objectif de débattre du positionnement final de l'implant par rapport à la planification et de discuter de la meilleure technique de conception de la couronne provisoire dans ce cas.

Dans le cas clinique présentée ci-dessus, sur la vue transversale du CBCT, nous avons observé que la racine de 11 était plus palatine sur la crête osseuse que la racine de 21 (asymétrie de position). Dans un protocole d'extraction-implantation immédiate, il est important de ne pas positionner l'implant dans le site extractionnel au risque de compromettre l'ostéo-intégration et l'esthétique.

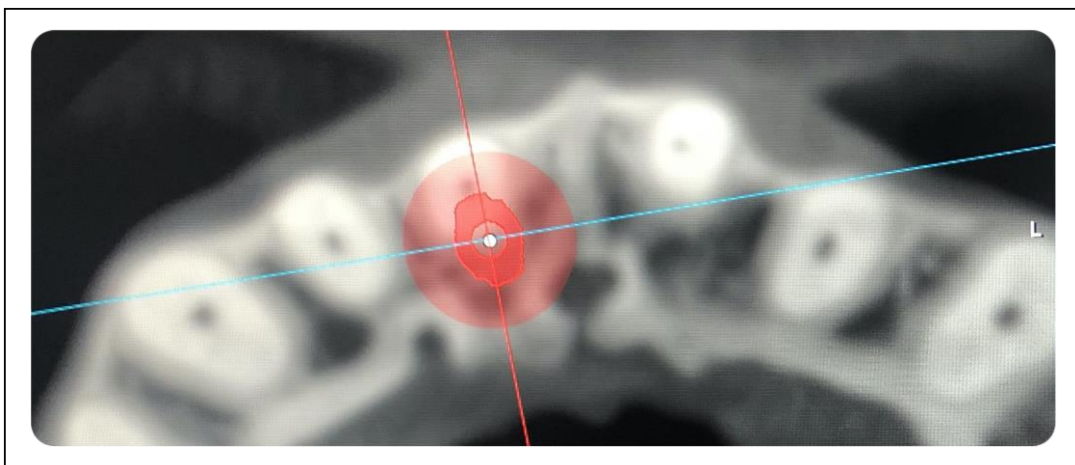
Figure 52 : CBCT de la situation initiale sur le logiciel Romexix®



Source : Dr Ghoul, 2021.

Dans le cas d'une prothèse transvissée, nous aurons tendance à situer la tête de l'implant légèrement en arrière de la ligne qui passe par les collets et qui relie les faces vestibulaires des dents adjacentes, c'est-à-dire à 1 mm en palatin pour obtenir l'émergence de la vis au niveau du cingulum de la future prothèse tout en maximisant le volume des tissus mous en vestibulaire.

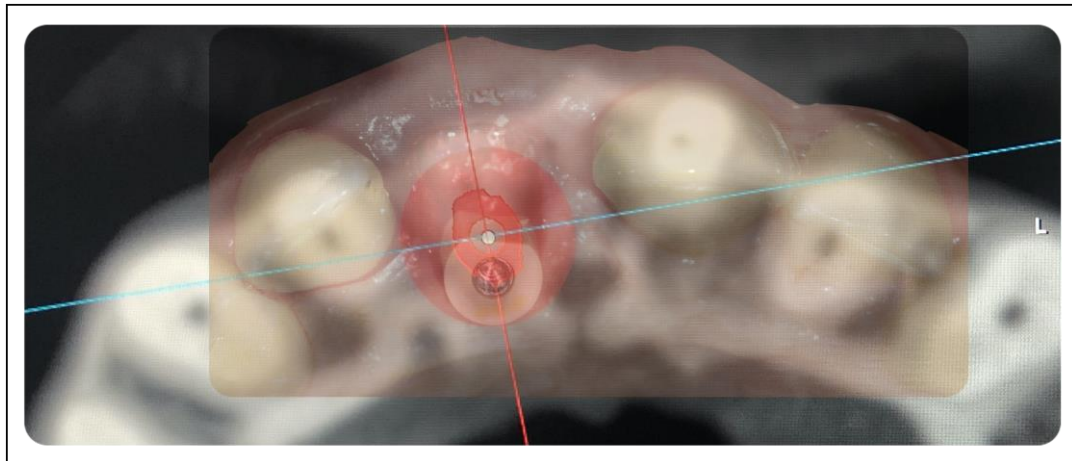
Figure 53 : Planification implantaire sur le logiciel Romexix®



Source : Dr Ghoul, 2021.

Le positionnement palatin de l'implant semble être plus marqué dans cette situation clinique, car il y avait déjà un décalage vestibule-palatin des deux incisives centrales lors de la situation initiale. Cet écart n'a malheureusement pas pu être compensé car il a fallu répondre aux exigences prothétiques d'une couronne transvissée. Une position trop vestibulaire aurait endommagé la corticale et provoqué des récessions gingivales.

Figure 54 : Comparaison de la planification implantaire et de la position implantaire finale



Source : Dr Ghoul, 2021.

Cette position implantaire plus palatine que la planification peut s'expliquer par le fait que le chirurgien-dentiste ait trouvé une stabilité primaire plus importante sur la corticale palatine. Cette position aurait éventuellement pu être évitée en utilisant un guide total qui aurait permis de réaliser une chirurgie full-guided et de placer l'implant dans la position initialement prévue sur la planification implantaire. Cependant, aucune garantie quant à la stabilité primaire de cette position n'était prévisible. Cela aurait donc compromis la mise en charge esthétique qui était le critère sine qua non à la chirurgie pour la patiente.

Le risque ici d'une position trop palatine de l'implant pourra donner une restauration prothétique en sur-contour qui pourra occasionner des fractures, des troubles occlusaux ou des problèmes d'hygiène. La patiente présente notamment une supraclusion. Il faudra par conséquent rester vigilant quant aux réglages de l'occlusion au moment de la restauration définitive.

Concernant la technique de conception de la couronne provisoire per-opératoire. Elle prend tout son sens dans cette situation clinique car la couronne ne dépend pas du positionnement implantaire puisque l'empreinte est effectuée en aval. Elle est donc créée en fonction de la position finale de l'implant limitant ainsi les risques de non-adaptation et de vissages intempestifs. Au contraire, une coque usinée en amont aurait nécessité, dans ce cas, un grand nombre de retouche car l'émergence

de l'implant n'aurait pas coïncidé avec l'orifice de la coque. De la même manière, une fabrication de la prothèse provisoire avant la chirurgie n'aurait pu se visser correctement à l'implant du fait de son positionnement plus palatin que la planification. La couronne aurait donc été perdue et il aurait fallu en confectionner une autre.

Lors de ce protocole opératoire, le numérique a été au cœur de la décision et de la réalisation chirurgicale et prothétique. Il faut cependant veiller à bien choisir sa méthode de confection de la couronne ainsi que le type de guide pour optimiser ses chances de positionner l'implant au plus proche des valeurs de la planification implantaire.

Conclusion

L'extraction-implantation et mise en esthétique immédiate dans la zone antérieure est largement reconnue comme fiable désormais. C'est une technique qui apparaît comme une solution de choix actuellement. Néanmoins, les résultats sont influencés par de nombreux facteurs chirurgicaux et prothétiques. La position implantaire, l'association de comblement osseux et de greffes conjonctives ou la qualité de la restauration provisoire sont autant de critères que le numérique permet d'anticiper. En effet, les outils digitaux permettent d'une part de réduire les risques et les aléas chirurgicaux et d'autre part d'anticiper le projet prothétique final avant même de débiter les étapes chirurgicales. Enfin, la prothèse provisoire est mise en œuvre grâce à la CFAO, permettant d'obtenir une très grande reproductibilité ainsi qu'une extrême précision du volume de la future dent et du soutien des tissus environnants.

Bien que l'utilisation des logiciels de conception ait été simplifiée, ils demandent tout de même une courbe d'apprentissage non négligeable, au profit d'un gain de temps important et d'une précision finale maximale. Ces outils numériques et ces protocoles chirurgicaux et prothétiques rigoureux permettent ainsi d'augmenter la sécurité, la reproductibilité du protocole et d'optimiser le résultat esthétique des prothèses supra-implantaires dans le secteur antérieur.

Cependant, avoir une confiance aveugle dans ces outils pourrait porter préjudice au chirurgien-dentiste, car ils n'exemptent pas le praticien de son sens clinique aiguisé et de sa précieuse expérience implantaire. Le clinicien doit toujours évaluer la difficulté du cas par rapport à son expérience et ne pas exclure une mise en place différée de l'implant ou de la restauration provisoire.

Bibliographie

1. Boghanim P, Armand S, Campan P, Gayrard L, Gineste L, Le Gac O. Observation du site implantaire : conséquences cliniques. *Strat Prothétique*. 2008;8(2).
2. Baudoin C-A, Bennani V. Un projet prothétique en implantologie. Paris Quintessence Int. 2003;133.
3. Committee on Economics. ASA Physical Status Classification System. 2020; Disponible sur: <https://www.asahq.org/standards-and-guidelines/asa-physical-status-classification-system>
4. Johansson G, Palmqvist S, Svenson B. Effects of early placement of a single tooth implant. A case report. *Clin Oral Implants Res*. 1994;5(1):48-51.
5. Scully C, Hobkirk J, Dios PD. Dental endosseous implants in the medically compromised patient. *J Oral Rehabil*. 2007;34(8):590-9.
6. Buser D, Martin W, Belser UC. Optimizing esthetics for implant restorations in the anterior maxilla : anatomic and surgical considerations. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2004;19 Suppl:43-61.
7. Esposito M, Ekestubbe A, Gröndahl K. Radiological evaluation of marginal bone loss at tooth surfaces facing single Brånemark implants. *Clin Oral Implants Res*. 1993;4(3):151-7.
8. Belser UC, Buser D, Hess D, Schmid B, Bernard JP, Lang NP. Aesthetic implant restorations in partially edentulous patients--a critical appraisal. *Periodontol 2000*. 1998;17:132-50.
9. Langer B, Langer L. Subepithelial connective tissue graft technique for root coverage. *J Periodontol*. 1985;56(12):715-20.
10. Belser U, Martin W, Jung R. Implant Therapy in the Esthetic zone for single-tooth replacements. Quintessence Publishing. Vol. XIII+. Berlin; 2007. xiii+253p.
11. Cochran DL, Hermann JS, Schenk RK, Higginbottom FL, Buser D. Biologic width around titanium implants. A histometric analysis of the implanto-gingival junction around unloaded and loaded nonsubmerged implants in the canine mandible. *J Periodontol*. 1997;68(2):186-98.
12. Cawood JI, Howell RA. A classification of the edentulous jaws. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 1988;17(4):232-6.
13. Pietrokovski J, Massler M. Alveolar ridge resorption following tooth extraction. *J Prosthet Dent*. 1967;17(1):21-7.
14. Casap N, Zeltser C, Wexler A, Tarazi E, Zeltser R. Immediate placement of dental implants into debrided infected dentoalveolar sockets. *J Oral Maxillofac Surg*. 2007;65(3):384-92.
15. Schropp L, Kostopoulos L, Wenzel A. Bone healing following immediate versus delayed placement of titanium implants into extraction sockets : a prospective clinical study. *Int J Oral*

Maxillofac Implants. 2003;18(2):189-99.

16. Degidi M, Piattelli A, Carinci F. Immediate loaded dental implants : comparison between fixtures inserted in postextractive and healed bone sites. *J Craniofac Surg.* 2007;18(4):965-71.
17. Lekovic V, Kenney EB, Weinlaender M, Han T, Klokkevold P, Nedic M, et al. A bone regenerative approach to alveolar ridge maintenance following tooth extraction. Report of 10 cases. *J Periodontol.* 1997;68(6):563-70.
18. Belser U, Buser D, Higginbottom F. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding esthetics in implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2004;19 Suppl:73-4.
19. Lee RL. Standardized head position and reference planes for dento-facial aesthetics. *Dent Today.* 2000;19(2):82-7.
20. Lombardi RE. The principles of visual perception and their clinical application to denture esthetics. *J Prosthet Dent.* 1973;29(4):358-82.
21. Snow SR. Esthetic smile analysis of maxillary anterior tooth width : the golden percentage. *J Esthet Dent.* 1999;11(4):177-84.
22. Roberts J, Drage N, Davies J. Effective dose from cone beam CT examinations in dentistry. *Br J Radiol.* 2009;82(973):35-40.
23. Vandenberghe B, Jacobs R, Bosmans H. Modern dental imaging : a review of the current technology and clinical applications in dental practice. *Eur Radiol.* 2010;20(11):2637-55.
24. Bellaiche N. Place de la technologie cone beam en imagerie odontostomatologique. *Lett Stomatol.* (42):4-14.
25. Manhes L. Améliorer ses traitements grâce aux nouvelles technologies liées aux cones beams by Stephane Cohen. *Lett Stomatol.* 2012;(53):14-20.
26. Mora MA, Chenin DL, Arce RM. Software tools and surgical guides in dental-implant-guided surgery. *Dent Clin North Am.* 2014;58(3):597-626.
27. Yuzbasioglu E, Kurt H, Turunc R. Comparison of digital and conventional impression techniques : evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health.* 2014;30(14):10.
28. Suese K. Progress in digital dentistry : The practical use of intraoral scanners. *Dent Mater J.* 2020;39(1):52-6.
29. Güth J-F, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clin Oral Investig.* 2013;17(4):1201-8.
30. Cazier S, Moussally C. Description of the various digital impression systems. *Rev D'Odonto-Stomatol.* 2013;42:107-18.
31. Zhang JN, Lu HP, Zhong C. Impact of anchorage implant design factors on its primary stability. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2017;52(8):517-20.
32. Vercruyssen M, Laleman I, Jacobs R, Quirynen M. Computer-supported implant planning and guided surgery : a narrative review. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26 Suppl 11:69-76.

33. Huang H, Wismeijer D, Shao X, Wu G. Mathematical evaluation of the influence of multiple factors on implant stability quotient values in clinical practice : a retrospective study. *Ther Clin Risk Manag.* 2016;2:1525-32.
34. Tarnow DP, Cho SC, Wallace SS. The effect of inter-implant distance on the height of inter-implant bone crest. *J Periodontol.* 2000;71(4):546-9.
35. Tahmaseb A, Wismeijer D, Coucke W, Derksen W. Computer technology applications in surgical implant dentistry : a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2014;29 Suppl:25-42.
36. Popelut A, Finelle G, Marin P. Guide chirurgical en impression 3D. *ID Inf Dent.* 2017;99(16):2-10.
37. Gallardo YNR, Teixeira da Silva-Olivio IR. Accuracy comparison of guided surgery for dental implants according to the tissue of support : a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2017;28(5):602-12.
38. Nickenig H-J, Wichmann M, Hamel J, Schlegel KA, Eitner S. Evaluation of the difference in accuracy between implant placement by virtual planning data and surgical guide templates versus the conventional free-hand method - a combined in vivo - in vitro technique using cone-beam CT (Part II). *J Craniomaxillofac Surg.* 2010;38(7):488-93.
39. Bover-Ramos F, Viña-Almunia J, Cervera-Ballester J, Peñarrocha-Diago M, García-Mira B. Accuracy of Implant Placement with Computer-Guided Surgery : A Systematic Review and Meta-Analysis Comparing Cadaver, Clinical, and In Vitro Studies. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2018;33(1):101-15.
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. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012;14(2):293-303.
41. Colombo M, Mangano C, Mijiritsky E, Krebs M, Hauschild U, Fortin T. Clinical applications and effectiveness of guided implant surgery : a critical review based on randomized controlled trials. *BMC Oral Health.* 2017;17(1):150.
42. Ren S-X, Hu X-L, Li J-H, Jiang X, Lin Y. A minimally invasive extraction technique using Benex Extraction System in flapless immediate implant placement in anterior teeth. *Shanghai J Stomatol.* 2016;25(3):334-9.
43. Hof M, Tepper G, Semo B, Arnhart C, Watzek G, Pommer B. Patients' perspectives on dental implant and bone graft surgery : questionnaire-based interview survey. *Clin Oral Implants Res.* 2014;25(1):42-5.
44. Pascual D, Vaysse J. Chirurgie implantaire et prothèse guidées et assistées par ordinateur : le flux numérique continu. 2016;117(1):28-35.
45. Al Yafi F, Camenisch B, Al-Sabbagh M. Is Digital Guided Implant Surgery Accurate and Reliable ? *Dent Clin North Am.* 2019;63(3):381-97.
46. Smitkarn P, Subbalekha K, Mattheos N, Pimkhaokham A. The accuracy of single-tooth

implants placed using fully digital-guided surgery and freehand implant surgery. *J Clin Periodontol*. 2019;46(9):949-57.

47. Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N. Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2003;18(4):571-7.

48. Kalt G, Gehrke P. Transfer precision of three-dimensional implant planning with CT assisted offline navigation. *Int J Comput Dent*. 2008;11(3-4):213-25.

49. Van Assche N, van Steenberghe D, Guerrero ME, Hirsch E, Schutyser F, Quirynen M, et al. Accuracy of implant placement based on pre-surgical planning of three-dimensional cone-beam images : a pilot study. *J Clin Periodontol*. 2007;34(9):816-21.

50. Schneider D, Marquardt P, Zwahlen M, Jung RE. A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template-based implant dentistry. *Clin Oral Implants Res*. 2009;20 Suppl 4:73-86.

51. Ersoy AE, Turkyilmaz I, Ozan O, McGlumphy EA. Reliability of implant placement with stereolithographic surgical guides generated from computed tomography : clinical data from 94 implants. *J Periodontol*. 2008;79(8):1339-45.

52. Ouali R, Hicham S, Assila L, El Yamani A. Intérêt des prothèses provisoires dans la restauration du guide antérieur. À propos d'un cas clinique. *Actual Odonto-Stomatol*. 2011;171-80.

53. Hosmalin R. Conception, réalisation de prothèse fixée par CFAO indirecte [Internet]. 2015. Disponible sur: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01305537>

54. Pitta J, Bijelic-Donova J, Burkhardt F, Fehmer V, Närhi T, Sailer I. Temporary implant-supported single crowns using titanium base abutments : an in vitro study on bonding stability and pull-out forces. *Int J Prosthodont*. 2020;33(5):546-52.

55. Dieter M. Les blocs Telio CAD pour l'usinage de couronnes et bridges provisoires à l'aide d'un système CAD/CAM [Internet]. 2017. Disponible sur: https://www.ivoclarvivadent.com/fr_FR/Products/Digital-Processes/Telio-CAD_2

56. Siadat H, Alikhasi M, Beyabanaki E. Interim prosthesis options for dental implant. *J Prosthodont*. 2017;26(4):331-8.

57. Rosentritt M, Raab P, Hahnel S, Stöckle M, Preis V. In-vitro performance of CAD/CAM-fabricated implant-supported temporary crowns. *Clin Oral Investig*. 2017;21(8):2581-7.

58. Su H, Gonzalez-Martin O, Weisgold A, Lee E. Considerations of implant abutment and crown contour : critical contour and subcritical contour. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2010;30(4):335-43.

59. Maynard JG, Wilson RD. Diagnosis and management of mucogingival problems in children. *Dent Clin North Am*. 1980;24(4):683-703.

60. Boileau M-J. Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte -Tome 2, Traitement des dysmorphies et malocclusions. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson. 2012;XV+:312.

61. Chen ST, Wilson TG, Hämmerle CHF. Immediate or early placement of implants

following tooth extraction : review of biologic basis, clinical procedures, and outcomes. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2004;19 Suppl:12-25.

62. Lee C-T, Tao C-Y, Stoupel J. The effect of subepithelial connective tissue graft placement on esthetic outcomes after immediate implant placement : systematic review. *J Periodontol*. 2016;87(2):156-67.

63. Schneider D, Grunder U, Ender A, Hämmerle CHF, Jung RE. Volume gain and stability of peri-implant tissue following bone and soft tissue augmentation : 1-year results from a prospective cohort study. *Clin Oral Implants Res*. 2011;22(1):28-37.

64. Bonnet F, Karouni M, Antoun H. Esthetic evaluation of periimplant soft tissue of immediate single-implant placement and provisionalization in the anterior maxilla. *Clin Res*. 2018;13(3):15.

65. Bergmann P, Noack MJ, Roulet JF. Marginal adaptation with glass-ceramic inlays adhesively luted with glycerine gel. *Quintessence Int*. 1991;22(9):739-44.

Table des figures

Figure 1 : Modélisation de la position correcte de l'implant dans le plan mésio-distale	8
Figure 2 : Modélisation de la position correcte de l'implant dans le plan vestibulo-palatin	9
Figure 3 : Modélisation de la position correcte de l'implant dans le plan corono-apical	10
Figure 4 : Comparaison des tissus péri-dentaires et péri-implantaires (Palacci)	10
Figure 5 : Lignes de référence horizontales et verticales de la face	13
Figure 6 : Analyse du visage de profil au repos	14
Figure 7 : Photo de la classification de la ligne du sourire par Liébart et collaborateurs	15
Figure 8 : Les différents champs d'exploration selon Vandenberghe B, Jacobs R, et Bosmans H.....	18
Figure 9 : Différents types de CFAO dentaire	22
Figure 10 : Wax-up numérique dans le cas d'une 11 présente et esthétiquement satisfaisante	23
Figure 11 : Wax up numérique dans le cas d'une 21 absente.....	23
Figure 12 : Intégration du fichier DICOM issue du CBCT dans le logiciel de planification implantaire DTX Studio Implant®	24
Figure 13 : Intégration du fichier STL issue de l'empreinte optique de la situation initiale dans le logiciel de planification implantaire DTX Studio Implant®	24
Figure 14 : Intégration du fichier STL issue de l'empreinte optique de la situation initiale dans le logiciel de planification implantaire DTX Studio Implant®	25
Figure 15 : Intégration du fichier STL issue de l'empreinte optique de la situation initiale dans le logiciel de planification implantaire DTX Studio Implant®	26
Figure 16 : Positionnement de l'implant en 3D sur une coupe panoramique issue du CBCT	28
Figure 17 : Positionnement de l'implant en 3D sur différentes coupes issues du CBCT sur le logiciel de planification DTX Studio Implant®	30
Figure 18 : Création d'un guide chirurgical pour un futur implant en 21	31
Figure 19 : Modélisation d'un guide chirurgical « full guided » à appuie dentaire pour un implant en 21	32
Figure 20 : Fenêtre d'ouverture du guide pour la vérification de son enfoncement en bouche	32
Figure 21 : Situation initial - 21 à l'état de racine	37
Figure 22 : Extraction atraumatique de la 21 à l'aide d'un davier et curetage de l'alvéole	37
Figure 23 : Mise en place du guide chirurgicale. Son bon positionnement est validé grâce aux fenêtres d'ouvertures sur 11 et 22	38

Figure 24 : a) Mise en place de l'implant à travers le guide chirurgical b) Émergence palatine de l'implant c) Comblement osseux entre la table osseuse vestibulaire et l'implant.....	39
Figure 25 : Type de déviation entre l'implant planifié et l'implant posé	45
Figure 26 : Étapes de conception d'une couronne provisoire usinée en amont de la chirurgie. Le rebasage en peropératoire n'a pas été iconographié car la stabilité primaire n'était pas suffisante pour une mise en esthétique immédiate	50
Figure 27 : Étapes de conception d'une couronne provisoire peropératoire.	52
Figure 28 : Évolution de la résorption cervicale sur des radios rétros alvéolaires datant de 2012 et de 2021	53
Figure 29 : Vue endobuccale de l'état initial en occlusion.....	54
Figure 30 : CBCT de la situation initiale sur le logiciel Romexis®	55
Figure 31 : Vue exobuccale en occlusion à l'issue de la thérapeutique parodontale initiale	56
Figure 32 : Vue exobuccale centrée sur le secteur incisivo-canin maxillaire	57
Figure 33 : Empreinte numérique du maxillaire (a) de la mandibule (b) et de l'occlusion (c)	58
Figure 34 : Planification implantaire sur le logiciel Romexis® dans les trois plans de l'espace	58
Figure 35 : Fusion des fichiers STL et DICOM pour la conception du guide chirurgical sur le logiciel Romexis®	59
Figure 36 : Impression stéréolithographique du guide chirurgical grâce à l'imprimante 3D Formlabs®	59
Figure 37 : Vue vestibulaire de l'alvéole post-extractionnelle	60
Figure 38 : Dent 11 extraite avec une résorption externe au niveau cervical	61
Figure 39 : Positionnement du guide chirurgical en bouche avec fenêtres de positionnement sur 12 et 21	61
Figure 40 : Rétro-alvéolaire du temps par temps opératoire	62
Figure 41 : Position de l'implant en bouche avec un scan post vissé. L'espace résiduel vestibulaire est comblé par du Bio-Oss®	63
Figure 42 : Désépithélialisation du greffon à la lame 15.....	63
Figure 43 : a) Positionnement du greffon désépithélialisé au niveau de la gencive marginal de 11 b) Suture du greffon mis en place par la technique de tunnelisation	64
Figure 44 : Fichier STL issue de l'empreinte optique après la mise en place de l'implant + ScanPost + ScanBody	65
Figure 45 : Choix du pilier et modélisation de la couronne provisoire sur le logiciel ExoCad®	65
Figure 46 : Ajustement des points de contacts et de l'occlusion de la couronne provisoire sur le logiciel ExoCad®	
	Vue occlusal
b) Vue frontale avec l'antagoniste c) Vue sagittale	66

Figure 47 : Prévisualisation sur le logiciel Millbox® de l'usinage de la couronne provisoire dans le bloc de PMMA (Telio® CAD, Ivoclar) teinte A2.....	66
Figure 48 : Étape de traitement, d'assemblage, de polissage et de maquillage de la couronne provisoire en PMMA avec la TiBase® en titane	67
Figure 49 : Couronne provisoire en PMMA assemblé à la TiBase® en titane	68
Figure 50 : Vue vestibulaire de la couronne provisoire transvissée en bouche à la fin de la séance comparée à la situation pré opératoire.....	68
Figure 51 : Rétro alvéolaire du temps par temps opératoire.....	69
Figure 52 : CBCT de la situation initiale sur le logiciel Romexix®	70
Figure 53 : Planification implantaire sur le logiciel Romexis®	70
Figure 54 : Comparaison de la planification implantaire et de la position implantaire finale	71

Table des tableaux

Tableau 1 : Classification de la ligne du sourire par Liébart et collaborateurs	15
Tableau 2 : Diamètre idéal de l'implant en fonction des dents antérieurs maxillaires.....	29
Tableau 3 : Comparaison des différents types de guidage chirurgicaux	34
Tableau 4 : Différence moyenne de déviation entre un implant posé avec un guide « foret pilote » et un guide "complètement guidé »	46

Vu, le Directeur de thèse

Vu, l'Administrateur provisoire de l'UFR d'Odontologie

Docteur Paul LACCOURREYE

Professeur Vianney DESCROIX

Vu, le Président d'Université de Paris
Professeur Christine CLERICI
Pour le Président et par délégation,

L'Administrateur provisoire Vianney DESCROIX

**Apport du numérique dans la technique d'extraction,
implantation et mise en esthétique immédiate au secteur maxillaire
antérieur**

Phoebé Kamioner. Apport du numérique dans la technique d'extraction, implantation et mise en esthétique immédiate au secteur maxillaire antérieur. 2021. xx p. : ill., graph., tabl. Réf. bibliographiques p. xx-yy.

Sous la direction de M. le Docteur Paul Laccourreye

Université de Paris
UFR d'Odontologie
1, rue Maurice Arnoux - 92120 Montrouge